

“DISEÑO DE EQUIPO PARA MONTAJE Y DESMONTAJE DE “MACHOS”,
PUNZONES, EN MOLDES INSTALADOS EN PRENSAS HIDRÁULICAS, PARA
LA FABRICACIÓN DE PISOS Y PAREDES, EN LA INDUSTRIA CERÁMICA”

CESAR ALVEIRO MURCIA BELLO

CÓD: 201316502602

RAFAEL ANTONIO VEGA HORMAZA

CÓD: 201129105602

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2015

“DISEÑO DE EQUIPO PARA MONTAJE Y DESMONTAJE DE “MACHOS”,
PUNZONES, EN MOLDES INSTALADOS EN PRENSAS HIDRÁULICAS, PARA
LA FABRICACIÓN DE PISOS Y PAREDES, EN LA INDUSTRIA CERÁMICA”

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO POR:

CESAR ALVEIRO MURCIA BELLO
CÓD: 201316502602

RAFAEL ANTONIO VEGA HORMAZA
CÓD: 201129105602

PRESENTADO A:

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ASESOR
ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ

En cumplimiento con los requisitos para optar al título de Ingeniero Mecánico

BOGOTÁ D.C.

2015

Nota de aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C.

AGRADECIMIENTOS

A Dios principalmente por brindarnos vida, salud y fortaleza. Guiándonos por el camino correcto y permitir formarnos profesionalmente.

A nuestros compañeros de trabajo, que muchas veces sacrificaron su tiempo en pro de que pudiéramos asistir a clases.

A los profesores, que siempre estuvieron dispuestos a brindar todo su conocimiento.

A una gran empresa “Corona” que nos brindó todo su apoyo para podernos preparar.

A nuestros compañeros de carrera y de tesis por su colaboración, comprensión y apoyo durante todo este tiempo.

A la institución por permitirnos pertenecer a su comunidad brindándonos todo lo necesario para formarnos no solo como excelentes profesionales, sino como grandes personas útiles a este país.

*El presente trabajo está dedicado a mi familia,
por su paciencia y apoyo durante estos años,
ya que dejé de dedicarles un tiempo muy valioso,
para poder formarme profesionalmente.
A mi esposa y a mis hijos que fueron el motor,
el incentivo, para que día a día me llenara
de valor a seguir adelante.*

Alveiro

*Este proyecto va dedicado a mis padres, mis hermanos
y a mi esposa quienes con sus consejos y apoyo fueron
muy importantes para seguir trabajando en lograr esta meta.*

*A Dios quien fue forjando el camino en el transcurso
de estos años, a mis amigos y compañeros de trabajo
por su colaboración y comprensión.*

Rafael

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1 JUSTIFICACIÓN	24
2 OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVO GENERAL	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	26
3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
4. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL	28
4.1 GENERALIDADES DE EQUIPOS DE MOVILIZACIÓN Y ELEVACIÓN DE CARGAS	28
4.2 EQUIPOS EXISTENTES COMERCIALMENTE PARA MANIPULACIÓN DE MACHOS	31
4.2.1 Cambiapunzones macer	32
4.2.2 Carrello movimentazione tamponi gape due	33
4.2.3 Csm xl simac	34
4.2.4 Csm 600 simac	35
4.2.5 Mpm simac	37
4.3 SEGURIDAD INDUSTRIAL	37
4.3.1 Riesgo laboral	37
4.4 DEFINICIONES	38

4.4.1 Equipo electromecánico	38
4.4.2 Modelo	38
4.4.3 Machos inferiores y superiores	38
4.4.4 Molde	39
4.4.5 Prensa hidráulica	39
4.4.6 Transmisión mecánica	40
4.4.7 Motores eléctricos	40
4.4.8 Motores reductores	40
4.4.9 Los rodamientos	41
4.4.10 Magnetismo	41
4.4.11 Electromagnetismo	41
4.4.12 Metales ferromagnéticos	42
4.5. ESTRUCTURA METÁLICA	43
4.5.1 Estructura metálica principal	43
4.5.2 Vigas metálicas	44
4.5.3 Transmisión de cargas en estructuras metálicas	44
4.5.4 Tipo de estructuras metálicas	44
4.6 FINALIDAD DE LA RESISTENCIA DE MATERIALES	46
4.7 TIPOS DE CARGAS EXTERIORES SOBRE UN PRISMA MECÁNICO	48
4.8 EQUILIBRIO ESTÁTICO Y EQUILIBRIO ELÁSTICO	49
4.9 VENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL	50
4.9.1 Alta resistencia	50
4.9.2 Uniformidad	50

4.9.3 Elasticidad	50
4.9.4 Durabilidad	50
4.9.5 Ductilidad	50
4.9.6 Tenacidad	51
4.9.7 Ampliaciones de estructuras existentes	51
4.9.8 Propiedades diversas	51
4.10 DESVENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL	52
4.10.1 Costo de mantenimiento	52
4.10.2 Costo de la protección contra el fuego	52
4.10.3 Susceptibilidad al pandeo	52
4.10.4 Fatiga	53
4.10.5 Fractura frágil	53
4.11 PERFILES DE ACERO	53
4.12 SISTEMAS DE UNIDADES	54
4.13 ESFUERZOS PERMISIBLES A TENSION Y CARGA	56
4.14 ÁREAS NETAS	58
4.15 ESFUERZO ÚLTIMO, PUNTO DE FLUENCIA Y FACTOR DE SEGURIDAD	60
4.16 ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36	62
4.16.1 Composición química	63
4.16.2 Soldabilidad	63
4.16.3 Requerimientos de tensión	64
4.16.4 Propiedades mecánicas	64
4.16.5 Aplicaciones	65
4.17 CONEXIONES	65

4.17.1 Tipos de uniones	65
4.17.2 Tipos de falla en juntas	69
5 MARCO CONSTITUCIONAL, LEGAL Y NORMATIVIDAD	71
5.1 LEGISLACIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN COLOMBIA.	71
6 INGENIERÍA DEL PROYECTO	74
6.1 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO	74
6.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO	76
6.2.1 Botonera de accionamiento equipo	76
6.2.2 Funcionamiento del equipo para desmontaje del macho	78
6.3 CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL ELECTROIMÁN	84
6.3.1 Cálculo de las barras del brazo electroimán	84
6.3.2 Cálculo del pasador	91
6.3.3 Cálculo del perfil soporte del brazo electroimán	94
6.3.4 Cálculo de la barra de desplazamiento del brazo	96
6.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA MOTORREDUCTOR TROLLEY	100
6.5 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA PARA DESPLAZAMIENTO DEL EQUIPO	102
6.5.1 Cálculo de la viga móvil	102
6.5.2 Cálculo de las vigas carrileras (fijas)	104
6.5.3 Cálculo de las columnas	106
6.6 CÁLCULO DE LAS CONEXIONES	108
6.6.1 Cálculo de soldadura para la viga carrilera	108

6.6.2 Cálculo de soldadura para la base de las columnas	111
6.6.3 Cálculo de los tornillos de la base de las columnas	112
7 EVALUACIÓN ECONÓMICA	115
8 CONCLUSIONES	117
9 RECOMENDACIONES	118
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo equipos para cambio de machos.....	32
Tabla 2. Propiedades físicas promedio de materiales comunes.Unidades inglesas.....	55
Tabla 3. Propiedades físicas promedio de materiales comunes. Unidades del sistema internacional.....	56
Tabla 4. Propiedades químicas de acero ASTM A36.....	63
Tabla 5.Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	64
Tabla 6. Costo elementos para fabricación nacional de equipo para cambio de machos y moldes.....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de elevadores industriales.....	29
Figura 2	Plataformas elevadoras.....	30
Figura 3	Tipos de montacargas.....	30
Figura 4	Un tipo de puente grúa.....	31
Figura 5	Carro semiautomático marca Macer.....	32
Figura 6	Carro de movilización punzones Gapedue.....	33
Figura 7	Carro csml xl Simac.....	34
Figura 8	Carros para cambiar punzones Simac.....	35
Figura 9	Carro semiautomático para cambio de punzones Mpm Simac.....	36
Figura 10	Principio básico de la hidráulica.....	40
Figura 11	Estructura metálica.....	44
Figura 12	Tipos de estructuras.....	45
Figura 13	Tipos de perfiles utilizados en estructuras.....	53
Figura 14	Soldadura de filete.....	67
Figura 15	Estructura soporte del equipo para montaje y desmontaje de machos...	74
Figura 16	Trolley para desplazamiento del equipo para montaje y desmontaje de machos a través de la viga móvil.....	75
Figura 17	Equipo para montaje y desmontaje de machos.....	75
Figura 18	Esquema simplificado del equipo para montaje y desmontaje de macho.....	76
Figura 19	Botonera de accionamiento equipo para cambio de machos.....	77
Figura 20	Punto de inicio equipo para cambio de machos.....	78
Figura 21	Desplazamiento en el eje Z.....	79
Figura 22	Ubicación del equipo frente al macho.....	79
Figura 23	Ubicación sobre el macho a desmontar.....	80
Figura 24	Ubicación electroimán sobre el macho.....	80
Figura 25	Elevación en Z del macho a desmontar.....	81
Figura 26	Desplazamiento en X desmontaje del macho.....	82
Figura 27	Desplazamiento en Y desmontaje del macho.....	82

Figura 28	Ubicación sobre el pallet. Desmontaje del macho.....	83
Figura 29	Ubicación macho sobre el pallet. Desmontaje del macho.....	83
Figura 30	Desmagnetizar macho sobre el pallet. Desmontaje del macho.....	84
Figura 31	Diagrama de fuerzas sobre las barras del brazo electroimán.....	85
Figura 32	Diagrama de fuerzas cortantes sobre la barra del brazo electroimán...	86
Figura 33	Diagrama de fuerzas en los cortes.....	87
Figura 34	Diagrama de fuerzas cortantes.....	87
Figura 35	Diagrama de momento flector.....	88
Figura 36	Perfil de la barra del brazo electroimán.....	89
Figura 37	Barra del brazo electroimán.....	91
Figura 38	Diagrama de fuerzas sobre el pasador.....	91
Figura 39	Pasador.....	94
Figura 40	Diagrama de fuerzas sobre el perfil soporte del brazo electroimán.....	94
Figura 41	Perfil soporte del brazo electroimán.....	96
Figura 42	Diagrama de fuerzas sobre la barra de desplazamiento del brazo.....	96
Figura 43	Perfil barra de desplazamiento del brazo electroimán.....	99
Figura 44	Montaje del trolley en la viga móvil	101
Figura 45	Diagrama de fuerzas sobre la viga móvil.....	102
Figura 46	Diagrama de momento flector sobre la viga móvil.....	103
Figura 47	Perfil de la viga móvil.....	104
Figura 48	Diagrama de fuerzas sobre la viga carrilera(fija).....	104
Figura 49	Diagrama de momento flector sobre la viga carrilera.....	105
Figura 50	Perfil de la viga carrilera.....	106
Figura 51	Diagrama de fuerzas sobre la columna.....	106
Figura 52	Perfil tipo S.....	109

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	Equipos de elevación. Trolley eléctrico, características.....	122
ANEXO B	Equipos de elevación. Trolley eléctrico, especificaciones (continuación).....	123
ANEXO C	Tabla perfiles I tipo S, especificaciones.....	124
ANEXO D	Tabla perfiles rectangulares, especificaciones.....	125
ANEXO E	Tabla perfiles rectangulares huecos, especificaciones.....	126
ANEXO F	Tabla de perfiles redondos, especificaciones.....	127
ANEXO G	Electrodo E7018, especificaciones.....	128
ANEXO H	Equipo para cambio de machos en prensas hidráulicas.....	129
ANEXO I.	Equipo para cambio de machos en prensas hidráulicas.....	130
ANEXO J.	Estructura soporte del equipo (Explosión).....	131
ANEXO K.	Placa base columna.....	132
ANEXO L.	Columna.....	133
ANEXO M.	Placa unión.....	134
ANEXO N.	Viga fija.....	135
ANEXO O.	Estructura soporte equipo-Viga móvil (Ensamble).....	136
ANEXO P.	Viga Móvil.....	137
ANEXO Q.	Equipo soporte electroimán (Explosión).....	138
ANEXO R.	Perfil soporte brazo.....	139
ANEXO S.	Barra del brazo electroimán.....	140
ANEXO T.	Pasador.....	141
ANEXO U.	Buje.....	142
ANEXO V.	Barra de desplazamiento del brazo.....	143
ANEXO X.	Dado transmisión.....	144
ANEXO Y.	Eje transmisión.....	145
ANEXO Z.	Acople barra de desplazamiento.....	146
ANEXO AA.	Trolley.....	147
ANEXO AB.	Geometría de machos.....	148

GLOSARIO

AISLANTE: Dicho de un material, que impide la transmisión del calor, la electricidad, el sonido, etc.

BUJE: Cojinete, pieza en que se apoya y gira un eje.

CARGA: Fuerza que actúa sobre una estructura. Peso sostenido por una estructura.

COMPRESIÓN: Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.

DEFLEXIÓN: Estado de un miembro o de una parte del cuerpo que no está flexionado.

DUCTILIDAD: De dúctil. Dicho de un metal, que admite grandes deformaciones mecánicas en frío sin llegar a romperse.

ELÁSTICO: Adjetivo, dicho de un cuerpo, que puede recobrar más o menos completamente su forma y extensión tan pronto como cesa la acción que las alteraba.

ELECTROIMÁN: Imán artificial que consta de un núcleo de hierro dulce rodeado por una bobina por la que pasa una corriente eléctrica.

ELECTROMAGNETISMO: Parte de la física que estudia la interacción de los campos eléctricos y magnéticos.

EQUILIBRIO: Estado de un cuerpo cuando fuerzas encontradas que obran en él se compensan anulándose mutuamente.

ESBELTEZ: Proporción adecuada y estilizada entre la altura y la anchura de los cuerpos.

ESFUERZO: Esfuerzo es la resistencia que ofrece un área unitaria (A) del material del que está hecho un miembro para una carga aplicada externa (fuerza, F).

ESFUERZO DE DISEÑO ADMISIBLE/TRABAJO: Es aquel esfuerzo que no debería ser excedido en el diseño de un miembro.

ESFUERZO ULTIMO: Es el máximo esfuerzo que un material puede soportar.

ESTRUCTURA: Es la distribución de las partes de un cuerpo, aunque también puede usarse en sentido abstracto. El concepto, que procede del latín *structura*, hace mención a la disposición y el orden de las partes dentro de un todo.

FACTOR DE SEGURIDAD: Es la relación entre la resistencia real y la resistencia requerida de un material. Por ende debe ser mayor a 1.

FATIGA: Pérdida de la resistencia mecánica de un material, al ser sometido largamente a esfuerzos repetidos.

FLUENCIA: Cedencia. Es la deformación irrecuperable de la probeta, a partir de la cual sólo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible. Este fenómeno se sitúa justo encima del límite elástico, y se produce un alargamiento muy rápido sin que varíe la tensión aplicada.

FOTOELASTICIDAD: Es una técnica para el análisis de esfuerzos. Este método experimental implica la utilización de rayos luminosos y técnicas ópticas para el estudio de esfuerzos y deformaciones en cuerpos elásticos.

FRACTURA: Se puede definir a la fractura como la culminación del proceso de deformación plástica. En general, se manifiesta como la separación o fragmentación de un cuerpo sólido en dos o más partes bajo la acción de un dado estado de cargas.

FRÁGIL: Propiedad que tienen ciertos cuerpos de romperse por el choque, la presión, etc., en vez de deformarse.

HORQUILLA: Pieza de un mecanismo con forma de Y, que suele servir para sujetar otras piezas o hacerlas girar.

HUSILLO: Tornillo de hierro o madera que se usa para el movimiento de las prensas y otras máquinas.

INERCIA: Propiedad de los cuerpos de no modificar su estado de reposo o movimiento si no es por la acción de una fuerza.

INHERENTE: Que por su naturaleza está de tal manera unido a algo, que no se puede separar de ello.

INTEMPERIZADO: El acero intemperizado es un acero de gran resistencia que desarrolla una capa de óxido sobre sus superficies cuando se lo expone a las lluvias y a la humedad; tiene la ventaja de adherirse al elemento metálico principal protegiéndolo de la posterior corrosión.

MÁSTIL: En ciertas grandes máquinas, torre, pieza o estructura vertical de gran altura respecto a la base.

MECÁNICO: Perteneciente o relativo a la mecánica, ejecutado por un mecanismo o máquina. Parte de la física que trata del equilibrio y del movimiento de los cuerpos sometidos a cualquier fuerza.

MODULO DE ELASTICIDAD: Es una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria y es una indicación de la rigidez de un material.

MODULO DE SECCIÓN: Es un término estructural de ingeniería que se focaliza en la fuerza de un objeto comparada con los otros objetos con los que está conectado. El módulo de la sección de un tubo mide el punto en el que el tubo comienza a ceder.

MOLDE: Pieza o conjunto de piezas acopladas en que se hace en hueco la forma que en sólido quiere darse a la materia fundida, fluida o blanda, que en él se vacía, como un metal, la cera, etc. Instrumento, aunque no sea hueco, que sirve para estampar o para dar forma o cuerpo a algo (letras de imprenta, las agujas de hacer media, los palillos de hacer encajes).

MOMENTO DE FUERZA: En mecánica newtoniana, se denomina momento de una fuerza a una magnitud vectorial, obtenida como producto vectorial del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza por el vector fuerza.

MOTORIZADO: Equipado con motor o alguna maquinaria.

PANDEO: En la construcción, flexión de una viga, provocada por una compresión lateral.

PRENSADO: Operación de prensar o hacer compacta una cosa.

PRESIÓN: Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie. Su unidad en el sistema internacional es el pascal.

PRISMA: Cuerpo limitado por dos polígonos planos, paralelos e iguales que se llaman bases, y por tantos paralelogramos cuantos lados tenga cada base. Si estas son triángulos, el prisma se llama triangular; si pentágonos, pentagonal, etc.

PUNTO DE FLUENCIA: Es el punto a partir del cual el material comienza a deformarse.

PUNZÓN, TAMPÓN Y/O MACHO: Instrumento de acero durísimo, de forma cilíndrica o prismática, que en la boca tiene de realce una figura, la cual, hincada por presión o percusión, queda impresa en el troquel de monedas, medallas, botones u otras piezas semejantes.

RÉGIMEN: Estado de una máquina o dispositivo cuando funciona de un modo regular y permanente.

RESULTANTE: Se dice de la suma geométrica de dos o más vectores.

TENACIDAD: Que opone mucha resistencia a romperse o deformarse.

TENSIÓN: Fuerza de tracción a la que está sometido un cuerpo.

TRACCIÓN: Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a alargarlo.

TROLLEY: Un pequeño vehículo con dos o cuatro ruedas que se puede empujar o halar para transportar objetos grandes o pesados

VIGA: Barra gruesa de madera, de metal o de cemento armado que se usa para aguantar el techo de las casas o como elemento de soporte horizontal en las construcciones en general.

VOLADIZO: Se aplica al elemento de construcción o a la estructura que sobresale horizontal o inclinada de la vertical de un edificio o pared.

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

A	Área
A36	Tipo de acero método ASTM
$A_{Agujero}$	Área de agujero
$A_{efectiva}$	Área mínima efectiva
A_{min}	Área mínima de sección transversal
A_n	Área neta real
ASD	Allowable Stress Design (diseño de tensión admisible)
Astm	American Society for Testing and Materials
b	Ancho
c	Distancia hasta el eje centroidal
D	Diámetro
d	Altura del ala de la viga
F	Fuerza
$F_{Pasador}$	Fuerza ejercida sobre el pasador
Fu	Resistencia a la tensión
Fy	Resistencia mínima a la fluencia
g	Gravedad
H	Altura
I	Inercia
K	Factor de longitud efectiva columnas
Kg	Kilogramo
KN	Kilo Newton
Ksi	Kilo libra por pulgada cuadrada
L	Longitud
L_{Placa}	Longitud de la placa
M	Momento de fuerza
m	Masa

mm	Milímetro
M_{max}	Momento de fuerza máximo
Mpa	Mega pascal
M_{Perfil}	Masa del perfil
P	Presión
P_{Cr}	Carga critica columna
Psi	Libra por pulgada cuadrada
r	Radio de giro
R_e	Relación esbeltez
R_1	Reacción 1
R_2	Reacción 2
S	Módulo de sección
s	Espesor del ala de la viga
T_{adm}	Esfuerzo admisible a cortante
T_y	Esfuerzo de fluencia a cortante
V	Cortante
x_1	Distancia hasta el corte 1
x_2	Distancia hasta el corte 2
Σ	Esfuerzo
$\sum M$	sumatoria de momentos
$\sum V$	sumatoria de fuerzas cortantes
σ_{adm}	Esfuerzo admisible

RESUMEN

Debido al avance que ha tenido la cerámica en el mercado en Colombia, nace la necesidad de innovar en nuevas herramientas, o complementar las existentes, con el fin de facilitar y asegurar procesos y /o actividades que son realizadas con alta frecuencia por los trabajadores, en las cuales ponen en riesgo su salud e integridad física.

Una actividad de alto impacto es el cambio de punzones en los moldes, en prensas hidráulicas, debido a los riesgos a que se exponen las personas que intervienen en la maniobra.

Éste documento describe el desarrollo del diseño, cálculo y selección de elementos mecánicos y estructurales, adecuados para un equipo, que cumpla con las necesidades básicas del proceso y que sea posible su fabricación con elementos y materiales que se encuentren comercialmente en Colombia.

La primera parte del documento está dedicada a dar a conocer los tipos de equipos utilizados para la manipulación de cargas y específicamente para la actividad de cambio de machos en prensas hidráulicas. A continuación se encuentra todo lo relacionado con materiales, especificaciones y características de los elementos requeridos.

Posteriormente se encuentra el desarrollo del diseño del equipo iniciando con su descripción y funcionamiento, pasando por los cálculos de los componentes principales del equipo y finalizando con la selección de las alternativas de cada componente.

Como anexos del documento se encuentran los planos del diseño del equipo, los cuales servirán para una posterior fabricación y algunos videos de la simulación del funcionamiento del equipo.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años han ido evolucionando los mercados alrededor del mundo; el mercado de la cerámica que no es la excepción ha ido cambiando hacia la fabricación de productos de mayor superficie para pisos y paredes, por lo cual se hace necesario un molde acorde con los nuevos formatos; junto con esta ampliación de dimensiones fue aumentado también su masa, haciéndose más difícil la manipulación de los componentes de los moldes. Esto constituye una acción insegura y una condición de riesgo para el trabajador, que puede desencadenar en enfermedades profesionales o incluso accidentes. A partir de esta condición se busca dar solución a esta situación con el diseño de equipos para la manipulación de los componentes de los moldes.

Actualmente en Colombia, ha evolucionado el tema de la seguridad laboral, pasando de tener un sistema encaminado a indemnizar o restaurar los daños ocasionados a los trabajadores, por accidentes o enfermedades profesionales, a programas de riesgos profesionales que buscan fortalecer la prevención de dichos riesgos y enfermedades ocasionadas por el trabajo. Partiendo de esta idea las industrias cerámicas, buscan construir un lugar de trabajo seguro para lograr cero accidentes mediante la identificación y control de riesgos potenciales que puedan ocasionar daños a la salud de los trabajadores.

Uno de los aspectos que preocupan dentro de las compañías es la manipulación manual de cargas, donde se encuentran oportunidades de mejora en cuanto a procedimientos, herramientas y equipos necesarios para realizar estas actividades de forma eficiente y segura.

Gracias al surgimiento de esta necesidad de realizar acciones para disminuir o eliminar riesgos, vemos una gran oportunidad para desarrollar y aplicar los conocimientos, enseñanzas y experiencias adquiridas en el transcurso de nuestra formación como ingenieros, buscando dar una solución viable a un problema en particular, como lo es el montaje y desmontaje de machos superiores e inferiores en los moldes de las prensas hidráulicas en la industria cerámica.

1. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a las actuales tendencias del mercado cerámico, la demanda en pisos y paredes está enfocada a tamaños cada vez más grandes. Para lograr la fabricación de estos productos se hace necesaria la utilización de moldes con partes intercambiables de mayor tamaño, como son los machos inferiores y superiores, que son bloques metálicos, cuya función es compactar y dar forma al producto. Al tener mayor tamaño, la masa de estos machos excede la capacidad máxima de carga permitida que un operario, de acuerdo a su aptitud física, sus conocimientos y experiencia puede levantar.

Debido a cambios de referencia, cambios por desgaste normal o por averías de estos machos, deben ser cambiados frecuentemente, por varios operarios manualmente, quienes exponen su salud e integridad física en cada cambio.

Los equipos que existen actualmente para el cambio de machos son importados y tienen un costo elevado, y los que son fabricados en Colombia no se adaptan a las necesidades requeridas en dicho proceso.

Para dar solución a esta problemática se busca diseñar un equipo que sirva para la realización de estas actividades sin exponer el bienestar y la salud de los trabajadores, lo cual constituye la finalidad del presente proyecto de investigación.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un equipo para montaje y desmontaje de “machos” en moldes instalados en prensas hidráulicas, para la fabricación de pisos y paredes, en la industria cerámica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar el funcionamiento de equipos existentes comercialmente para cambio de machos, a través de la consulta de manuales de uso y mantenimiento.
- Realizar un análisis estático para determinar la estructura soporte del equipo para montaje y desmontaje de machos.
- Diseñar la estructura soporte del sistema electroimán, ofertado en el mercado, necesario para elevar los machos.
- Seleccionar el sistema motorreductor “trolley” adecuado para desplazar el equipo bajo el eje de movimiento.
- Elaborar los planos del equipo los cuales servirán para su posterior fabricación y montaje.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se puede diseñar un equipo para montaje y desmontaje de machos en moldes instalados en prensas hidráulicas, para la fabricación de pisos y paredes, en la industria cerámica, de modo que su manipulación y operación sea eficiente y segura?

3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente las industrias colombianas deben estar innovando constantemente en sus procesos para ser competitivas y no desaparecer. “Las empresas colombianas deben plantearse innovar o morir, para ser competitivas”.(Barros, 2014)¹

La innovación es la vía para solucionar problemas internos de las compañías y generar empleo de calidad.

Las industrias cerámicas, se dedican al desarrollo de nuevos diseños para sus productos, innovando en las principales características en la producción de revestimientos para pisos y paredes. El prensado es uno de los procesos de fabricación de revestimientos cerámicos, en el cual se compacta y da forma a la baldosa mediante la utilización de un molde, instalado en una prensa hidráulica, con partes intercambiables, que son bloques metálicos llamados machos inferiores y superiores. Estos machos y moldes deben tener una temperatura alrededor de 5 a 10 grados Celsius superior a la temperatura ambiente, es decir de 35 a 40 grados Celsius, para mitigar el pegado del polvo a compactar.

¹ BARROS, Laura. Emprende. (En línea), 25 Noviembre de 2014. Disponible en: <http://contenidos@revistamprende.com>.

De acuerdo a la demanda actual en pisos y paredes la tendencia es cada vez más hacia revestimientos de mayor tamaño, lo cual implica un aumento en el tamaño y la masa de los machos para su fabricación.

Estos machos deben ser manipulados frecuentemente por operarios los cuáles realizan esta función manualmente.

Existe un problema grave como es el riesgo frecuente a que están expuestos los operarios, debido a la masa que deben cargar, la cual excede lo establecido por la normatividad; a las malas posiciones que deben adoptar y la exposición a atrapamientos y golpes.

Como respuesta a dicha problemática, surge la idea de crear una alternativa de solución innovadora, que permita diseñar un equipo para la realización del cambio de machos de forma segura y eficiente, haciendo más eficaz el proceso empleado, eliminando al máximo los riesgos laborales; reduciendo tiempos de realización de los cambios, aumentando la disponibilidad de las prensas hidráulicas y disminuyendo costos por daños ocasionados durante su manipulación.

4. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

4.1 GENERALIDADES DE EQUIPOS DE MOVILIZACIÓN Y ELEVACIÓN DE CARGAS

Son equipos destinados a facilitar el levantamiento y/o transporte de elementos que no son fácilmente manipulables por una sola persona. Comercialmente se puede encontrar diferentes tipos de equipos para realizar estas tareas, a continuación se mencionaran algunos de los más comunes.

Una clasificación que se puede dar de acuerdo a la actividad que realizan es la siguiente:

- Elevación.
 - Ascensores.
 - Plataformas elevadoras.

- Elevación y transporte.
 - Puente grúas.
 - La carretilla elevadora o montacargas.

Ascensores: son vehículos de transporte que pueden ser utilizados para transportar, remolcar, empujar, apilar, subir o bajar distintos objetos y elementos. La característica principal de este medio móvil es su capacidad de subir y bajar personas, cargas y/o materiales.

Es relevante saber que los elevadores pueden ser de tracción hidráulica, eléctrica y/o manuales. Los elevadores vienen de tipo industrial, elevadores residenciales, comerciales, en línea económica, de diseño panorámico o de alta gama. Los

materiales son adecuados al uso y el estilo del ambiente en que se instalará el medio de elevación. (Industriales, 2014)²

Figura 1. Tipos de elevadores industriales



Fuente: <http://catalogos.devenado.com/venadotuerto-montacargas-industriales-dd9153.html>

Plataformas elevadoras: las plataformas elevadoras se definen como un dispositivo concebido para elevar cargas a diferentes alturas, así mismo se usan para subir personas o herramientas a un punto definido de trabajo, con la opción de entrada y salida de la plataforma, está conformada con una plataforma de trabajo, un brazo extensible y el chasis.

Las plataformas elevadoras se utilizan frecuentemente para trabajos a altura y que demanden libertad de movimiento. Ubican una canasta, en donde el operador maneja la máquina a través de un panel de control, manejando variantes como la posición, la altura, el ángulo o la velocidad. (SEOlucionesdigitales.com, 2015)³

² Máquinas Industriales. (En línea), 25 Noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.revolucionesindustriales.com/maquinasindustriales/>

³ Plataformas elevadoras. (En línea), 23 Noviembre de 2014. Disponible en: <http://ascenderingenieria.com/plataformas-elevadoras/>.

Figura 2. Plataformas elevadoras



Fuente:<http://www.logismarket.com.mx/lift-and-compactors-mexico/plataforma-de-tijera/3416700895-1179565885-p.html>

Montacargas: son equipos para mover cargas en forma intermitente y en áreas limitadas. Es todo dispositivo mecánico empleado para el movimiento de suministros, materiales o productos terminados, el cual es accionado por un motor eléctrico o de combustión interna. Es una poderosa herramienta que permite que una persona pueda levantar y colocar con precisión cargas grandes y pesadas con poco esfuerzo. (2012, 2014)⁴

Figura 3. Tipos de montacargas



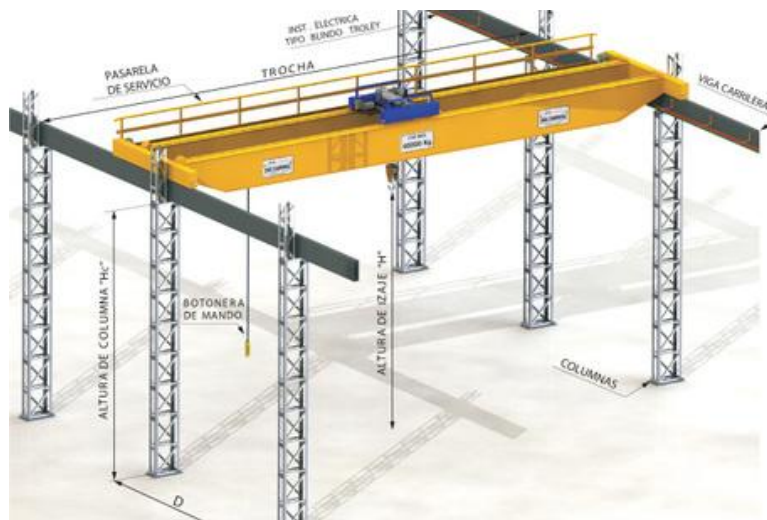
Fuente:<http://www.logismarket.com.ar/tecno-industrial-americana/elevadores-hidraulicos-manuales/1943088929-1179608898-p.html>

⁴ Montacargas. (En línea), 25 Noviembre de 2014. Disponible en: <https://sites.google.com/site/enmisitio2012/home/prueba-2>.

Puente grúa: un equipo de elevación y transporte de materiales de forma discontinua. Consiste en una estructura metálica que se apoya en sus extremos sobre 2 vías elevadas, sobre las cuales se desplaza recorriendo transversalmente el taller.

Sobre el puente va montado un carro que se desplaza a lo largo de él, pendiendo del carro va un polipasto diferencial que puede llevar cadena o cable para suspender la carga. (Mérida Alegria, 2014)⁵

Figura 4. Un tipo de puente grúa



Fuente: <https://grabcad.com/requests/puente-grua>

4.2 EQUIPOS EXISTENTES COMERCIALMENTE PARA MANIPULACIÓN DE MACHOS

Debido a que el número de empresas dedicadas a la fabricación de pisos y paredes se concentra en solo unas cuantas en Colombia, en el mercado nacional no encontramos oferta de equipos que tengan las características necesarias para el manejo de “machos” de una forma eficiente y segura. Para la realización de esta

⁵MÉRIDA ALEGRÍA, Vinicio Humberto. Puente Grúa (En línea), 25 Noviembre de 2014. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0726_MI.pdf.

tarea se puede encontrar en el mercado internacional diferentes equipos diseñados específicamente para tal fin.

Algunos de los equipos más innovadores y conocidos comercialmente en el mercado cerámico internacional se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Comparativo equipos para cambio de machos

NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE	PAIS ORIGEN	CARGA MAXIMA(Kg)	ALCANCE (mm)	ACCIONAMIENTO	ENERGIA UTILIZADA
CAMBIAPUNZONES	MACER S.L	ESPAÑA	200	1000 Y 1300	SEMI-AUTOMATICO	ELECTRICA
CARRELLO MOVIMENTAZIONE TAMPONI	GAPE DUE	ITALIA	800	NA	MANUAL	HIDRAULICA
CSM XL	SIMAC	ITALIA	1500	NA	MANUAL	HIDRAULICA
CSM 600	SIMAC	ITALIA	1500	NA	MANUAL	HIDRAULICA
MPM	SIMAC	ITALIA	200	1400	AUTOMATICO	ELECTRICA E HIDRAULICA

Fuente: Autores

4.2.1 Cambia punzones macer

Figura 5. Carro semiautomático marca MACER



Fuente: http://www.macer.es/71084_es/CAMBIAPUNZONES/

Este equipo incorpora lo último en tecnología mecánica que permite el cambio de punzones superiores o inferiores desde formatos pequeños de 30 x 30 cm hasta

formatos grandes de hasta 200 Kg de peso, manejando un sencillo mando de control. Evitando así sobreesfuerzos y posibles lesiones en accidentes laborales. Equipo autónomo con funcionamiento a baterías y cargador incorporado, tracción motorizada con 2 velocidades, bancada de elevación mediante husillos motorizados, sincronizados para una elevación segura, carrera aproximada de 300 mm, cabezal telescópico basculante y extensible entre 1000 mm y 1300 mm, según modelo, móvil a lo largo de la bancada de elevación para poder centrar los platos y electroimán para extracción/colocación de platos hasta 200 Kg de peso (superiores o inferiores). La posición del electroimán es ajustable dentro del cabezal telescópico para aprovechar al máximo la carrera extensible. (S.L., 2014)⁶

4.2.2 Carrello movimentazione tamponi gapedue

Figura 6. Carro de movilización punzones. Gapedue.



Fuente: <http://www.gapedue.it/en/products/carrelli>

Este equipo cuenta con una plataforma superior en la cual están colocados una serie de rodillos que giran libremente y sobre estos debe ser desplazado el macho superior o inferior. Para la elevación de la plataforma hasta ubicarla al nivel del molde en la prensa hidráulica se utiliza un sistema hidráulico que es accionado mediante una palanca por el operador. Para su desplazamiento está dotado de unas ruedas que soportan el peso del carro junto al macho. La plataforma tiene

⁶ Cambia punzones macer. (En línea), 28 Noviembre de 2014. Disponible en: http://www.macer.es/71084_es/CAMBIAPUNZONES/

una longitud máxima de 1740 mm, un ancho de 1100mm y una elevación hasta 1200mm sobre el nivel del suelo.(DUE, 2014)⁷

4.2.3 Csm xl simac

Figura 7. Carro csml xl Simac



Fuente: <http://www.simacsrl.it/sites/default/files>

Es un sistema para el desmontaje y montaje de punzones patentado para grandes formatos.

Gracias al innovador sistema totalmente impulsado es actualmente la única herramienta del mercado que permite resolver con unos pocos gestos rápidos cambiar tampones (machos) superiores a 600x600 mm insertado al molde de la prensa en la producción de baldosas cerámicas. El manejo de las almohadillas de hecho se produce sin recurrir a desmontaje del carro situado en la parte trasera de la prensa, también, a través de las guías, permite realizar el centrado del tampón durante la fase de inserción en el molde. Gracias a la característica constructiva única y a su sencillez de uso, CSM XL permite resolver de una manera rápida y funcional, la movimentación de los tampones de modo que se reducen considerablemente el costo y tiempos de cambio de producción.(TECH, 2014)⁸

⁷ GAPE DUE. Carro de movilización punzones (En línea), 28 Noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.gapedue.it/en/products/carrelli/>

⁸ SIMAC TECH. Carro CSML (En línea), 28 Noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.simacsrl.it/sites/default/files/>

4.2.4 Csm 600 simac

Figura 8. Carros para cambiar punzones Simac



Fuente: <http://www.simacsrl.it/ceramic-division/stampi/carrelli-csm>

Está diseñado para el manejo de los punzones superior e inferior (de muestreo, transporte y almacenamiento). La superficie de soporte, controlado por una bomba hidráulica accionada manualmente, es móvil para permitir que se apoye en la base del molde formando de esta manera un plano uniforme. De esta manera el operador puede extraer y apoyar el macho fácilmente.

Las ruedas están equipadas con un freno para evitar los movimientos involuntarios.

La gran maniobrabilidad y facilidad de uso combinado con la capacidad máxima de carga de 1.500 Kg hace que sea una herramienta especialmente útil para las necesidades de la industria cerámica.

CSM 600 se puede suministrar tanto con el plano como con el rodillo(TECH, 2014)⁹

⁹ SIMAC TECH. Carro CSM 600 (En línea), 28 Noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.simacsrl.it/sites/default/files/>

4.2.5 Mpm simac

Figura 9. Carro semiautomático para cambio de punzones. Mpm Simac



Fuente: <http://www.simacsrl.it/ceramic-division/stampi/carrelli-mpm-system>

El sistema MPM es la solución ideal para los cambios y/o manejo de todo tipo y tamaño de los machos de una forma sencilla y segura, gracias al uso de un electroimán de alto rendimiento y gracias al control mediante teclado remoto. El sistema MPM es un grupo dotado de un electroimán con movimiento en sus tres ejes. (Sólo funciona acoplado a carros de la serie CTM desde donde toma el poder), aplicable en modo veloz solo cuando sea necesario. Así se puede obtener un completo equipamiento, tanto para el cambio (usando el carro modelo CTM para formar MPM) tanto para el cambio de molde completo (usando sólo la base del carro CTM).

Características / Beneficios clave:

1. Trabajo sólo acoplado al carro CTM
2. Máximo 200 Kg
3. También se puede utilizar con machos isostáticos
4. Aplicable también a los carros CTM
5. Totalmente automático, controlados por un solo operador con el teclado remoto

6. Disponible en varios tamaños, dependiendo de la luz entre columnas de las prensas
7. Longitud transversal de trabajo Min 1020 mm Max 1600 mm
8. Excursión horizontal del brazo telescópico magnético MAX: 1.400 mm. (TECH, 2014)¹⁰

4.3 SEGURIDAD INDUSTRIAL

La seguridad industrial es un área multidisciplinaria que se encarga de minimizar los riesgos en la industria. Parte del supuesto de que toda actividad industrial tiene peligros inherentes que necesitan de una correcta gestión.

La innovación tecnológica, el recambio de maquinarias, la capacitación de los trabajadores y los controles habituales son algunas de las actividades vinculadas a la seguridad industrial.

4.3.1 Riesgo Laboral: posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo. La calificación de su gravedad dependerá de la probabilidad de que se produzca el daño y de la severidad del mismo.

Un aspecto central para la prevención de accidentes, se relaciona con la eliminación de las causas potenciales visibles.

4.3.1.1 Aspectos que influyen en la seguridad en el ambiente físico de trabajo

- **Factor de maquinaria y herramental:** incluye la maquinaria, herramientas y equipo a emplear en los procesos productivos en la empresa.

¹⁰ SIMAC TECH. Carro MPM (En línea), 28 Noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.simacsrl.it/sites/default/files/>

- **Factor de movimiento:** considera los flujos de transporte de materiales, insumos, equipo, productos, etc. dentro del proceso de producción de la empresa.
- **Factor de ambiente físico de trabajo:** considera la distribución en planta de maquinaria y equipo de acuerdo al proceso de producción.
- **Conocimiento de la maquinaria y equipo para la ejecución de procesos:** el conocimiento de las características y especificaciones de la maquinaria y equipo que interviene en el proceso es importante, puesto que en función a ello, se podrá determinar la disposición adecuada de las mismas en el lugar de trabajo, además establecer las condiciones de seguridad necesarias para su operación.(Blogspot, 2014)¹¹

4.4 DEFINICIONES

4.4.1 Equipo electromecánico: un equipo es el conjunto de elementos eléctricos, mecánicos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos debidamente sincronizados y programados para realizar una función específica.

4.4.2 Modelo: se habla de modelo cuando a un equipo o diseño se le han delegado ciertos atributos, que lo hacen diferente a otro. El modelo es de vital importancia cuando se requieren, datos técnicos y/o especificaciones.

4.4.3 Machos inferiores y superiores: los machos inferiores son bloques metálicos en los cuales se encuentra grabado el diseño o textura de una referencia de piso o revestimiento a producir; también existen los machos superiores que son unos bloques metálicos los cuales en su interior son

¹¹ Elementos de un programa de seguridad industrial parte IV [En línea], 2014. – 10 de Diciembre de 2015. - <http://seguridadindustrialapuntes.blogspot.com>

atravesados por conductos que son llenados con aceite hidráulico, esto con el fin de obtener una fuerza uniforme sobre el polvo prensado.

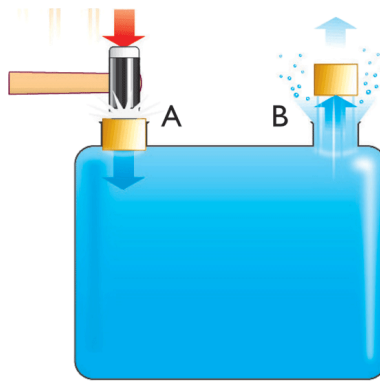
Los machos tanto superior como inferior hacen parte del molde, el cual es un conjunto de bloques metálicos predispuestos de manera adecuada para dar forma y tamaño a un modelo de revestimiento cerámico (pisos y paredes).

4.4.4 Molde: al conjunto de machos, superiores e inferiores más la estructura metálica donde se ensamblan se le conoce como molde. Su función es dar forma y tamaño a una pieza o modelo, gracias a una prensa hidráulica que le proporciona la fuerza necesaria para compactar la arcilla dentro de las cavidades del mismo.

4.4.5 Prensa hidráulica: la prensa hidráulica es una máquina, que permite amplificar la intensidad de las fuerzas y constituye el fundamento de elevadores, prensas, frenos y muchos otros dispositivos hidráulicos de maquinaria industrial. La prensa hidráulica constituye la aplicación fundamental del principio de Pascal. Consiste, en esencia, en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí y cuyo interior está completamente lleno de un líquido que puede ser agua o aceite. Dos émbolos de secciones diferentes se ajustan, respectivamente, en cada uno de los dos cilindros, de modo que estén en contacto con el líquido. Cuando sobre el émbolo A se ejerce una fuerza F_1 la presión p_1 que se origina en el líquido en contacto con él se transmite íntegramente y de forma (casi) instantánea a todo el resto del líquido. Por el principio de Pascal esta presión será igual a la presión p_2 en B. (Wikispaces, Wikispaces.com, 2015).¹²

¹²Prensa Hidráulica [En línea], 2015. – 12 de Enero de 2015. Disponible en: <http://lafisicaparatodos.wikispaces.com/PRINCIPIO+DE+PASCAL>

Figura 10. Principio básico de la hidráulica



Fuente: <http://lafisicaparatodos.wikispaces.com/PRINCIPIO+DE+PASCAL>

4.4.6 Transmisión Mecánica: se denomina transmisión al mecanismo encargado de enviar o transmitir la potencia de un motor a otra parte, con el objetivo de mover el vehículo o mover piezas internas necesarias para su correcto funcionamiento.

4.4.7 Motores Eléctricos: son máquinas eléctricas rotatorias. Transforman una energía eléctrica en energía mecánica. Tienen múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento. (Areatecnologia, Areatecnologia, 2014)¹³

4.4.8 Motores Reductores: los motores reductores ocasionan diferentes tipos de beneficios como una regularidad perfecta de la velocidad, como también la potencia, mayor eficiencia en la transmisión, mayor seguridad en la transmisión, mayor rigidez en el montaje y menor tiempo necesario para la instalación.

Gracias a la invención de estos reguladores de velocidad la industria ha crecido mucho y ha logrado mejor calidad y eficacia. (Lujan, es.over-blog.com, 2011)¹⁴

¹³ El motor Eléctrico [En línea], 2014. – 15 de Diciembre de 2014. Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>

¹⁴ TEXEIRA, Lujan. Motores reductores [En línea], 2011. – 20 de Noviembre de 2014. Disponible en: http://es.over-blog.com/Como_funcionan_los_reductores_de_velocidad_usos_y_tipos_de_reductores-1228321783-art164436.html

4.4.9 Los Rodamientos: un rodamiento (o cojinete) es un componente utilizado para la disminución de la fricción que podría ser causado por cualquier elemento relacionado con la rotación, con el fin de alcanzar la máxima eficiencia de la energía. Ésta podría haber sido convertida de energía de torque a energía de calor, por lo que la función principal de los rodamientos es la disminución de la "conversión a calor" de energía. Una gran variedad de tipos de rodamientos y diseños son conocidos, la gran variedad de los rodamientos se justifica por su variedad de aplicaciones. (S.R.C, 2013)¹⁵

4.4.10 Magnetismo: desde el siglo VI a. c. ya se conocía que el óxido ferroso-férrico, al que los antiguos llamaron magnetita, poseía la propiedad de atraer partículas de hierro. Hoy en día la magnetita se conoce como imán natural y a la propiedad que tiene de atraer los metales se le denomina “magnetismo”.

4.4.11 Electromagnetismo: en 1820 el físico danés Hans Christian Oersted descubrió que entre el magnetismo y las cargas de la corriente eléctrica que fluye por un conductor existía una estrecha relación. Cuando eso ocurre, las cargas eléctricas o electrones que se encuentran en movimiento en esos momentos, originan la aparición de un campo magnético tal a su alrededor, que puede desviar la aguja de una brújula.

Si cogemos un trozo de alambre de cobre desnudo, recubierto con barniz aislante y lo enrollamos en forma de espiral, habremos creado un solenoide con núcleo de aire.

Si a ese solenoide le aplicamos una tensión o voltaje, desde el mismo momento que la corriente comienza a fluir por las espiras del alambre de cobre, creará un campo magnético más intenso que el que se origina en el conductor normal de un circuito eléctrico cualquiera cuando se encuentra extendido, sin formar espiras. Después, si a esa misma bobina con núcleo de aire le introducimos un trozo de

¹⁵ Los Rodamientos [En línea], 2013. – 16 de Noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.srcmx.com/rodamientos.php>

metal como el hierro, ese núcleo, ahora metálico, provocará que se intensifique el campo magnético y actuará como un imán eléctrico (o electroimán), con el que se podrán atraer diferentes objetos metálicos durante todo el tiempo que la corriente eléctrica se mantenga circulando por las espiras del enrollado de alambre de cobre.

Cuando el flujo de corriente eléctrica que circula a través del enrollado de cobre cesa, el magnetismo deberá desaparecer de inmediato, así como el efecto de atracción magnética que ejerce el núcleo de hierro sobre otros metales. Esto no siempre sucede así, porque depende en gran medida de las características del metal de hierro que se haya empleado como núcleo del electroimán, pues en algunos casos queda lo que se denomina "magnetismo remanente" por un tiempo más o menos prolongado después de haberse interrumpido totalmente el suministro de corriente eléctrica.

4.4.12 Metales ferromagnéticos: la mayoría de los cuerpos existentes en la naturaleza presentan una estructura molecular en la que reina el más absoluto desorden y no se pueden magnetizar. Sin embargo existen también algunos metales en los que sus átomos pueden actuar esporádicamente como imanes elementales, alineándose como tales si se someten a la influencia de un campo magnético. Cuando eso ocurre se magnetizan, convirtiéndose en un imán temporal o en un imán permanente.

Los metales que se magnetizan con facilidad reciben el nombre de "paramagnéticos" y los que no se magnetizan o son difíciles de magnetizar se denominan "diamagnéticos". Entre los "paramagnéticos" los metales más fáciles de magnetizar se denominan "ferromagnéticos", debido a que fue en el hierro (ferro) el metal en el que se detectó por primera vez esa propiedad. Pero además del hierro se consideran también ferromagnéticos otros metales como el níquel, el cobalto y algunos compuestos especiales.

Hay metales que se pueden magnetizar de forma permanente y otros que sólo lo permiten de forma transitoria cuando lo afecta un campo magnético cualquiera, ya sea procedente de un imán permanente o de un electroimán. Los electroimanes

generalmente pierden el magnetismo y regresan a su estado original en cuanto se les saca del área de influencia de un campo magnético. No obstante, existen algunos metales que demoran algún tiempo en perder el magnetismo. En esos casos se dice que al metal le queda “magnetismo remanente”. (Alonso, 2013)¹⁶

4.5 ESTRUCTURA METÁLICA

Una estructura metálica es cualquier estructura donde la mayoría de las partes que la forman son materiales metálicos, normalmente acero. Las estructuras metálicas se utilizan por norma general en el sector industrial porque tienen excelentes características para la construcción, son muy funcionales y su costo de producción suele ser más barato que otro tipo de estructuras. Normalmente un proyecto de ingeniería utiliza estructuras metálicas.

Para que una estructura funcione bien tiene que ser estable, resistente y rígida, estable para que no vuelque, resistente para que soporte esfuerzos sin romperse y rígida para que su forma no varíe si se le somete a esfuerzos, como por ejemplo el propio peso y el de las personas.

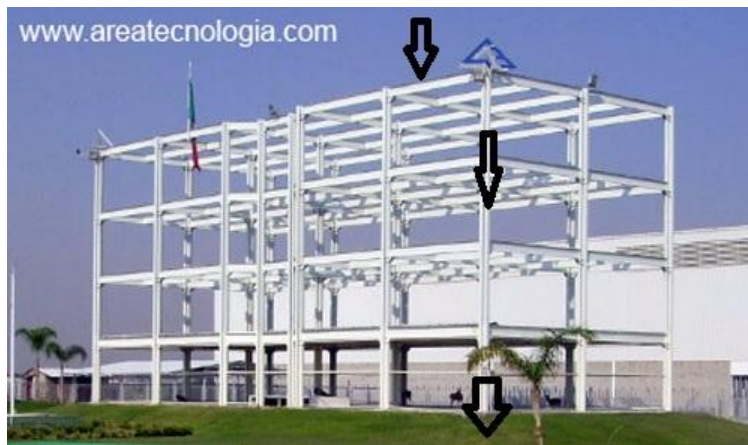
Cada estructura metálica está formada por la estructura metálica principal y la estructura metálica secundaria.

- **4.5.1 Estructura metálica principal:** se compone de todos aquellos elementos que estabilizan y transfieren las cargas a los cimientos (normalmente de hormigón reforzado). La estructura metálica principal es la que asegura que no se vuelque, que sea resistente y que no se deforme.

¹⁶ ALONSO, Noé. Electromagnetismo. [En línea], 2013. – 16 de Noviembre de 2014. Disponible en: <http://corrientesinducidas-magnetismo.blogspot.com.co/2013/04/electromagnetismo.html>

- **4.5.2 Vigas metálicas:** Las vigas metálicas son los elementos horizontales, son barras horizontales que trabajan a flexión. Dependiendo de las acciones a las que se les someta sus fibras inferiores están sometidas a tracción y las superiores a compresión. Existen varios tipos de vigas metálicas y cada una de ellas tiene un propósito ya que según su forma soportan mejor unos esfuerzos u otros.
- **4.5.3 Transmisión de cargas en estructuras metálicas:** las fuerzas o cargas que soportan las estructuras se van repartiendo por los diferentes elementos de la estructura, pero las cargas siempre van a ir a parar al mismo sitio, a los cimientos o zapatas.

Figura 11. Estructura metálica



Fuente: <http://www.areatecnologia.com/estructuras/estructuras-metalicas.html>

- **4.5.4 Tipo de estructuras metálicas:** partiendo de la base que las estructuras metálicas son artificiales ya que las ha inventado el ser humano podremos entonces destacar qué tipos de estructuras existen:
 - **4.5.4.1 Estructuras abovedadas:** estas estructuras son todas aquellas en las que se emplean bóvedas, cúpulas y arcos para repartir y

equilibrar el peso de la estructura, como por ejemplo puede verse en las catedrales o iglesias.

- **4.5.4.2 Estructuras entramadas:** estas son las más comunes ya que son las que utilizan la mayoría de los edificios que podemos ver en cualquier ciudad. Emplean una gran cantidad de vigas, pilares, columnas y cimientos, es decir, una gran cantidad de elementos horizontales y verticales para repartir y equilibrar el peso de la estructura. Estas estructuras son más ligeras porque emplean menos elementos que las abovedadas por ejemplo y así pueden conseguirse edificios de gran altura.
- **4.5.4.3 Estructuras trianguladas:** las trianguladas se caracterizan como su propio nombre indica por disponer sus elementos de forma triangular, suelen ser muy ligeras y económicas. Suelen utilizarse para la construcción de puentes y naves industriales. En estos casos hay dos formas que son las más utilizadas, la cercha y la celosía.

Figura 12. Tipos de estructuras



Estructura en Cercha Viga Inclineda



Estructura en Celosia Viga Recta

www.areatecnologia.com

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/estructuras/estructuras-metalicas.html>

- **4.5.4.4 Estructuras colgantes:** las estructuras colgantes o colgadas son aquellas que utilizan cables o barras (tirantes) que van unidos a soportes muy resistentes (cimientos y pilares). Los tirantes estabilizan la estructura, como puede verse por ejemplo en los puentes colgantes.
- **4.5.4.5 Estructuras laminares:** todas aquellas formadas por láminas resistentes que están conectadas entre sí y que sin alguna de ellas la estructura se volvería inestable, como pueden ser las carrocerías y fuselajes de coches y aviones.
- **4.5.4.6 Estructuras geodésicas:** son estructuras poco comunes que están formadas por hexágonos o pentágonos y suelen ser muy resistentes y ligeras. Son estructuras que normalmente tienen forma de esfera o cilindro. (Areatecnologia, Areatecnologia.com, 2014)¹⁷

4.6 FINALIDAD DE LA RESISTENCIA DE MATERIALES

El objetivo del presente es establecer los criterios que nos permitan determinar el material más conveniente, la forma y las dimensiones más adecuadas que hay que dar a los elementos de una estructura o máquina para que puedan resistir la acción de las fuerzas y momentos exteriores que los solicitan, así como para obtener este resultado de la forma más económica posible.

Si se someten dos cables de la misma forma y dimensiones, pero de distinto material como podían ser de acero y cobre a una misma fuerza por ejemplo el peso de un cuerpo, mismo que se incrementa paulatinamente, se observa que el cable de cobre es el primero en el que se produce la rotura. Por lo tanto se puede

¹⁷ Estructuras metálicas. [En línea], 2014. – 16 de Noviembre de 2014. Disponible en: <http://corrientesinducidas-magnetismo.blogspot.com.co/2013/04/electromagnetismo.html>

decir que el acero posee mayor resistencia mecánica que el cobre, entendiendo por tal la capacidad de oponerse a la rotura al ser sometido a una sollicitación exterior.

En cuanto a las deformaciones que experimentan ambos materiales, también se observa que son distintas. Se llama rigidez a la propiedad que presenta el material de oponerse a las deformaciones.

Otro aspecto de gran importancia es la estabilidad, entendiendo por tal la capacidad de oposición del elemento a grandes desplazamientos y deformaciones como resultado de las cargas exteriores. El cálculo de la estabilidad de la pieza nos permitirá conocer su capacidad de conservar las formas de equilibrio que adopta en estado deformado.

Teniendo presentes las anteriores consideraciones, podemos dar una definición más simple aún que la dada inicialmente, y decir que resistencia de materiales es la ciencia que trata del cálculo de la resistencia mecánica, rigidez y estabilidad de las piezas de una estructura o máquina.

La resistencia de materiales tiene importantes aplicaciones en todas las ramas de la ingeniería. Sus métodos los utilizan los ingenieros aeronáuticos y navales para el diseño y construcción de aviones y barcos, respectivamente; los ingenieros civiles, al proyectar puentes, presas y cualquier tipo de estructura; los ingenieros de minas, para resolver la necesidad de conocimientos de construcción que exige su profesión; los ingenieros mecánicos y electromecánicos, para el proyecto y construcción de maquinaria y todo tipo de construcciones mecánicas, como son los recipientes a presión; los ingenieros energéticos, para proyectar los diferentes componentes de un reactor; los ingenieros metalúrgicos, por la necesidad que tienen del conocimiento de los materiales actuales para la búsqueda de nuevos materiales; los ingenieros eléctricos, para el proyecto de máquinas y equipos eléctricos y, en fin, los ingenieros químicos, para el diseño de instalaciones en industrias de su especialidad.

4.7 TIPOS DE CARGAS EXTERIORES SOBRE UN PRISMA MECÁNICO

Las cargas exteriores sobre una pieza están constituidas por las cargas directamente aplicadas y las reacciones debidas a los apoyos. Las cargas se clasifican en:

- a) Fuerzas de volumen y fuerzas de superficie: las primeras actúan sobre todos los puntos del sólido y se deben a campos de fuerzas tales como el campo gravitatorio, el campo de fuerzas de inercia, o el campo magnético. Las fuerzas de superficie son las que se aplican a la superficie exterior del prisma. Pueden ser concentradas o repartidas.
- b) Cargas concentradas y distribuidas: las cargas concentradas son aquellas que se aplican en un punto mientras que las cargas distribuidas las que están aplicadas en porciones de área o volumen. En la naturaleza no existen fuerzas concentradas sino solo distribuidas sin embargo cuando el área o volumen de aplicación son pequeños las cargas pueden considerarse como concentradas. Las cargas distribuidas pueden ser de superficie (presión del viento o del agua sobre una pared) o de volumen (peso propio).
- c) Cargas estáticas y dinámicas: las cargas cuya magnitud, punto de aplicación y dirección no varían o lo hacen muy lentamente, se llaman cargas estáticas, las mismas que no provocan vibraciones de las estructuras o elementos, mientras que las cargas que varían con el tiempo se llaman cargas dinámicas y son las que provocan vibraciones. Si la variación de la carga es de carácter periódico, es decir, que los valores máximos de la carga se repiten cada determinado intervalo de tiempo las cargas se denominan cargas de régimen estable o cargas de repetición periódica.

4.8 EQUILIBRIO ESTÁTICO Y EQUILIBRIO ELÁSTICO

Para que un sólido rígido se encuentre en equilibrio es necesario y suficiente que se verifiquen:

- Que la suma de las fuerzas que actúan sobre el sólido sea igual a cero, o lo que es lo mismo, que la resultante sea nula. Esta condición asegura que el sólido no tenga desplazamientos.
- Que el momento resultante de todas las fuerzas respecto de cualquier punto sea igual a cero. Esta condición asegura que el sólido no experimente giros. En un sólido elástico estas condiciones son necesarias pero no suficientes, ya que si suponemos realizado en el sólido un corte ideal y prescindimos de una de las partes, es necesario que el sistema de fuerzas interiores en los puntos de la sección ideal sea equivalente al sistema de fuerzas que actúan sobre la parte eliminada.

Así, para el equilibrio en un sólido elástico no sólo se requieren las condiciones del equilibrio estático, sino también que exista equilibrio entre las fuerzas exteriores y las internas en cada una de las infinitas secciones.

Esta última condición es la característica del equilibrio elástico: es necesario que las fuerzas exteriores que actúan sobre el sólido sean contrarrestadas por las fuerzas interiores de cohesión molecular.(umsa, 2014)¹⁸

¹⁸Tipos de cargas. [En línea], 2014. – 16 de Noviembre de 2014. Disponible en:
<http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lib1May.pdf>

4.9 VENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

Tal vez el más versátil de todos los materiales estructurales, parece razonable cuando se considera su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades convenientes.

4.9.1 Alta resistencia

La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con malas condiciones en la cimentación.

4.9.2 Uniformidad

Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo, como es el caso de las estructuras de concreto reforzado

4.9.3 Elasticidad

El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse exactamente, en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzados son relativamente imprecisos.

4.9.4 Durabilidad

Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado durarán indefinidamente. Investigaciones realizadas en los aceros modernos, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.

4.9.5 Ductilidad

La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbón, ocurre una reducción

considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura. Un material que no tenga esta propiedad probablemente será duro y frágil y se romperá al someterlo a un golpe repentino. En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.

4.9.6 Tenacidad

Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

4.9.7 Ampliaciones de estructuras existentes

Las estructuras de acero se adaptan muy bien a posibles adiciones. Se pueden añadir nuevas crujías e incluso alas enteras a estructuras de acero ya existentes y los puentes de acero con frecuencia pueden ampliarse.

4.9.8 Propiedades diversas

Otras ventajas importantes del acero estructural son: (a) gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches, (b) posibilidad de fabricar los miembros, (c) rapidez de montaje, (d) gran capacidad para laminarse en gran cantidad de tamaños y formas, (e) resistencia a la fatiga, (f) rehúso posible después de

desmontar una estructura y (g) posibilidad de venderlo como chatarra aunque no pueda utilizarse en su forma presente.

4.10 DESVENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

4.10.1 Costo de mantenimiento

La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuesto al aire y al agua y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente. El uso de aceros intemperizados para ciertas aplicaciones, tiende a eliminar este costo.

4.10.2 Costo de la protección contra el fuego

Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios, cuando los otros materiales de un edificio se queman. Han ocurrido muchos incendios en edificios vacíos, en lo que el único material combustible era el mismo edificio. El acero es un excelente conductor de calor, de manera que los miembros de acero sin protección pueden transmitir suficiente calor de una sección o compartimiento incendiando de un edificio a secciones adyacentes del mismo edificio e incendiar el material presente. En consecuencia, la estructura de acero de un edificio debe protegerse con materiales con ciertas características aislantes o el edificio deberá acondicionarse con un sistema de rociadores para que cumpla con los requisitos del código de estructuración de la localidad en la que se halle.

4.10.3 Susceptibilidad al pandeo

Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo, como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al usarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, sólo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

4.10.4 Fatiga

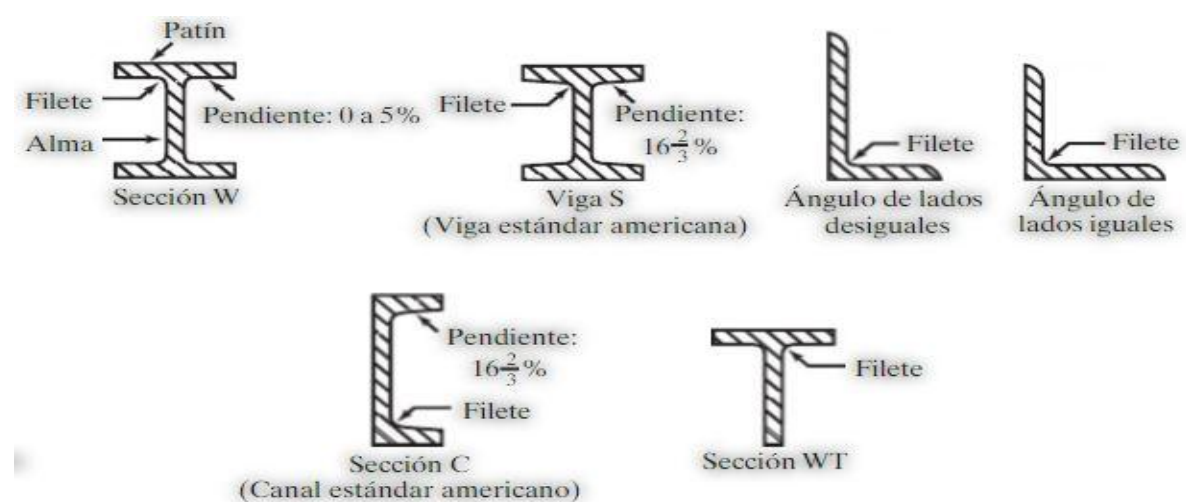
Otra característica inconveniente del acero es que su resistencia puede reducirse si se somete a un gran número de inversiones del signo del esfuerzo, o bien, a un gran número de cambios de la magnitud del esfuerzo de tensión. (Se tienen problemas de fatiga sólo cuando se presentan tensiones.) En la práctica actual se reducen las resistencias estimadas de tales miembros, si se sabe de antemano que estarán sometidos a un número mayor de ciclos de esfuerzos variables que cierto número límite.

4.10.5 Fractura frágil

Bajo ciertas condiciones, el acero puede perder su ductilidad y presentarse una fractura frágil en lugares con concentración de esfuerzos. Las cargas que generan fatiga junto con temperaturas muy bajas, agravan la situación.

4.11 PERFILES DE ACERO

Figura 13. Tipos de perfiles utilizados en estructuras



Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 4ed. Editorial Alfaomega, p.8

Los perfiles se denominan en forma abreviada por medio de manual ASD (*Specification for structural Steel buildings allowable stress design and plastic design*). Especificaciones para edificios de acero estructural según el método por esfuerzos permisibles y el método de diseño plástico.

1. Una W27 x 114 es una sección W con 27 pulgadas aproximadamente de peralte y peso de 114 lb/pie.
2. Una S12 x 35 es una sección S con 12 pulgadas de peralte y peso de 35 lb/pie.
3. Una HP12 x 74 es una sección usada como pilote de carga con 12 pulgadas aproximadamente de peralte y peso de 74 lb/pie; estos perfiles tienen almas más gruesas que las W regulares para resistir mejor el impacto del hincado. El ancho y peralte de estas secciones son aproximadamente iguales, y los patines y almas tienen espesores iguales o casi iguales. (Mccormac, 1991)¹⁹

4.12 SISTEMAS DE UNIDADES

Los Estados Unidos de Norteamérica son la última nación industrial en adoptar el sistema métrico. Sin embargo, es claro que dicho sistema llegará a ser, finalmente, el estándar. Esto no ocurrirá sin un gasto y resistencia, considerables, por parte de algunos sectores de la industria americana.

Actualmente está teniendo lugar un periodo de transición hasta que la población y la industria lleguen a adoptar plenamente este sistema de medida.

Los cálculos en ingeniería están utilizando clara y rápidamente las unidades del SI. Sin embargo la nación esta aun predominantemente acostumbrada al sistema Ingles de medida, y muchas componentes comerciales disponibles aun usan estas unidades. En un tema orientado hacia el diseño práctico tal como la mecánica de

¹⁹ MCCORMAC.J. Diseño de estructuras metálicas. 4 ed. Editorial Alfaomega, 1991 p. 3-8.

materiales, estamos encarados al problema dual de prepararnos con destreza y práctica, para hoy y el futuro. Consecuentemente, durante este periodo de transición, debemos familiarizarnos con ambos sistemas de unidades.

En las tablas siguientes se encuentran las propiedades para diferentes materiales, algunas de las cuales serán utilizadas para el presente proyecto.

Tabla 2. Propiedades físicas promedio de materiales comunes. Unidades inglesas.

Material	Esfuerzo de fluencia Klb/pulg ²		Esfuerzo último Klb/pulg ²		Módulo de elasticidad Klb/pulg ²		Coeficiente de dilatación lineal por grado F α
	Tensión	Cortante	Tensión	Cortante	Tensión E	Cortante G	
Acero, laminado en caliente, bajo contenido de carbón.	36	21	65	45	30000	12000	6.5×10^{-6}
Acero, laminado en caliente, alto contenido de carbón.	65	40	120	105	30000	12000	7×10^{-6}
Hierro colado			20(tensión) 80 (Comp.)		15000	6000	6×10^{-6}
Aluminio, aleación 6061	35	26	38	30	10000	4000	12.8×10^{-6}
Latón	15		40		15000	6000	10.5×10^{-6}
Bronce	20		50		15000	6500	10.5×10^{-6}
Cobre extruido	35	23	50		17000	6000	9.3×10^{-6}
Madera (abeto Douglas), (compresión paralela a la veta)	5.8 (Comp.)		7.4 (Comp.)		1760		

Fuente: FITZGERALD, Robert W. Mecánica de materiales. Edición revisada. México, 1996. P. 514

Tabla 3. Propiedades físicas promedio de materiales comunes. Unidades del sistema internacional.

Material	Esfuerzo de fluencia Mpa		Esfuerzo último Mpa		Módulo de elasticidad Gpa		Coeficiente de dilatación lineal por grado C α
	Tensión	Cortante	Tensión	Cortante	Tensión E	Cortante G	
Acero, laminado en caliente, bajo contenido de carbón.	248	145	448	310	200	80	12×10^{-6}
Acero, laminado en caliente, alto contenido de carbón.	448	276	828	724	200	80	13×10^{-6}
Hierro colado			138(Tensión) 552(Comp.)		100	38	11×10^{-6}
Aluminio, aleación 6061	240	180	262	207	70	26	23×10^{-6}
Latón	103		276		100	38	20×10^{-6}
Bronce	138		345		100	45	20×10^{-6}
Cobre extruido	240	160	345		120	38	17×10^{-6}
Madera (abeto Douglas), (compresión paralela a la veta)	40		51				$5,5 \times 10^{-6}$

Fuente: FITZGERALD, Robert W. Mecánica de materiales. Edición revisada. México, 1996. P. 514 (Fitzgerald R. w., 1996)²⁰

4.13 ESFUERZOS PERMISIBLES A TENSIÓN Y CARGA

Un miembro dúctil de acero, sin agujeros y sometido a una carga de tensión puede resistir, sin fracturarse, una carga mayor que la correspondiente al producto del área de su sección transversal y del esfuerzo de fluencia del acero, gracias al endurecimiento por deformación, sin embargo, un miembro a tensión cargado hasta el endurecimiento, se alargara considerablemente y restará utilidad a éste, pudiendo además causar la falla del sistema estructural del que forma parte el miembro.

²⁰ FITZGERALD, Robert W. Mecánica de materiales. 6ta edición. Editorial Alfaomega, 1996 p. 510-514.

Por otra parte, si tenemos un miembro a tensión con agujeros para tornillos, éste puede fallar por fractura en la sección neta que pasa por los agujeros.

La especificación ASD-D1 da un esfuerzo permisible a tensión de $0.60F_y$ para las áreas transversales totales de miembros en cuyas secciones no haya agujeros. Para secciones que tengan agujeros para pernos o remaches, el esfuerzo permisible a tensión es $0.50F_u$, aplicables a las áreas netas efectivas. Se proporciona así un factor de seguridad de 1.67 respecto a la fluencia de la sección total ($F_y / 0.60 F_y = 1.67$), y un valor de 2.0 contra la fractura del miembro en su área neta efectiva más pequeña ($F_u / 0.50F_u = 2.0$).

El área neta efectiva real A_e que puede considerarse que resiste la tensión en la sección a través de los agujeros puede ser algo menor que el área neta real A_n , debido a la concentración de esfuerzos y a otros factores. La capacidad permisible de un miembro a tensión con agujeros para pernos o remaches según las especificaciones ASD es igual al menor de los dos valores siguientes:

$$T = 0.60F_y \cdot A_n \text{ o bien } T = 0.50 F_u \cdot A_e \quad 4.1$$

En muy raras ocasiones, los miembros a tensión tienen ranuras o agujeros que se extienden sobre una longitud importante del miembro. El comentario ASD-D1 indica que una “longitud importante” es una distancia igual o mayor que el peralte del miembro. En tales casos el proyectista debe juzgar si la fluencia en esa longitud es de cuidado. Si se decide que tal es el caso, probablemente un esfuerzo permisible de $0.60F_y$ debería usarse para el área neta efectiva.

Los valores anteriores no son aplicables a barras roscadas (con cuerdas) o a miembros con agujeros para pasadores se permite un esfuerzo de tensión de $0.60F$ en el área total del miembro y se permite un valor de $0.45F_y$ en el área neta de la sección que pasa por el agujero.

4.14 ÁREAS NETAS

La presencia de un agujero en un miembro sujeto a tensión incrementa los esfuerzos, aun si el agujero está ocupado por un tornillo o un remache. Se tiene menos área de acero sobre la que puede distribuirse la carga, y habrá concentración de esfuerzos a lo largo del agujero.

La tensión se supone uniformemente distribuida sobre la sección neta del miembro, aunque estudios de fotoelasticidad demuestran que existe un incremento en la intensidad del esfuerzo alrededor de los bordes de los agujeros, que en ocasiones puede alcanzar varias veces el valor del esfuerzo que se tendría si los agujeros no estuvieran presentes. Sin embargo, para materiales dúctiles es razonable suponer una distribución uniforme de esfuerzos cuando el material se carga más allá de su punto de fluencia. Si las fibras alrededor de los agujeros se esfuerzan hasta su punto de fluencia, estas fluirán sin incremento de esfuerzo, re distribuyéndose los esfuerzos presentes. Bajo carga última es razonable suponer una distribución uniforme de los esfuerzos. La importancia de la ductilidad en la resistencia de miembros a tensión atornillados o remachados se ha demostrado claramente en ensayos. Los miembros a tensión (con agujeros para tornillos o remaches) fabricados de acero dúctil han resultado entre $1/5$ y $1/6$ más resistentes que miembros similares, hechos de aceros frágiles con las mismas resistencias últimas.

Por medio de laboriosos cálculos matemáticos es posible considerar las concentraciones de esfuerzos que ocurren alrededor de agujeros y en otros cambios bruscos de dimensiones de la sección transversal. Los valores calculados son bastante aproximados pero es dudoso que tales valores sean mucho más valiosos que los obtenidos al dividir la carga total entre el área de la sección transversal que queda al restar de esta los agujeros correspondientes.

Estas consideraciones son aplicables solamente en miembros a tensión sometidos a cargas relativamente estáticas. Si es necesario diseñar estos miembros por cargas de fatiga, deberá ponerse especial cuidado en minimizar las fuentes de concentración de esfuerzos, tales como los cambios bruscos de la sección transversal, esquinas salientes, etc. Además, en ocasiones los miembros tendrán que reforzarse.

El término área neta de la sección transversal o simplemente área neta se refiere al área bruta de la sección transversal menos la de ranuras, muescas y agujeros. Al considerar el área de estos por lo general es necesario restar un área un poco mayor que la nominal del agujero. Por ejemplo, en la fabricación de estructuras de acero para conectarse con tornillos o remaches, los agujeros se punzonan con un diámetro $1/16$ pulgadas mayor que el correspondiente al tornillo o remache. Además, se considera que el punzonado del agujero daña o aun destruye, $1/16$ pulgadas (1.6 mm) más del metal circundante; por lo tanto, el área de los agujeros que se resta corresponde a un diámetro $1/8$ pulgadas (3 mm) mayor que el diámetro nominal del conector. El área que se resta por agujeros es rectangular e igual al producto del diámetro del agujero por el espesor del metal.

Las placas con espesores mayores que el diámetro del conector, son difíciles de punzonar a la medida requerida sin que se presente una deformación excesiva del material circundante. Estos agujeros deben pre barrenarse a diámetros ligeramente menores que $3/16$ pulgadas que los especificados y luego, cuando las piezas están ya presentadas, limarse al diámetro justo. Con este proceso se daña poco el material y, como los agujeros resultantes son lisos y de paredes uniformes, no se considera necesario restar el $1/16$ pulgadas por daño a los lados. Algunas veces, cuando deben conectarse piezas de gran espesor, los agujeros se taladran al diámetro del conector más $1/32$ pulgadas; este proceso resulta muy caro y debe evitarse siempre que sea posible.

Puede resultar necesario adoptar una mayor tolerancia dimensional durante los montajes y para los tornillos de alta resistencia con diámetros mayores de $5/8$ pulgadas se pueden usar agujeros mayores que los estándar sin reducir la eficiencia de la conexión. Estos agujeros pueden ser ovalados. Para calcular las

áreas netas cuando se usan agujeros ovalados se añade 1/16 pulgadas al ancho de cada agujero. (McCormac, 1991)²¹

4.15 ESFUERZO ÚLTIMO, PUNTO DE FLUENCIA Y FACTOR DE SEGURIDAD

Se dice que el esfuerzo último es el máximo esfuerzo que un material puede soportar. Sin embargo, antes de que un material pueda cargarse hasta el esfuerzo último, ocurren deformaciones bastante grandes. En el acero dúctil la deformación correspondiente al esfuerzo último puede ser 150 o más veces la deformación en el punto de fluencia. Por consiguiente, la máxima capacidad de un miembro para soportar carga se alcanza generalmente antes del esfuerzo último, y la limitación se debe más bien a la deformación que al esfuerzo. Esta deformación excesiva se presenta, por supuesto, en los materiales dúctiles, a diferencia de los materiales frágiles o quebradizos como el hierro colado. La mayoría de los componentes estructurales están hechos de materiales dúctiles. Los componentes de las máquinas, edificios y puentes no pueden tolerar la deformación excesiva asociada con el esfuerzo último.

Por consiguiente, como una limitación práctica, el punto de fluencia o la resistencia en el punto de fluencia, se considera generalmente como el máximo esfuerzo que puede tolerarse. Por esa razón, los factores de seguridad, que se discuten más adelante, se refieren generalmente al esfuerzo de fluencia más bien que al esfuerzo último del material.

El término “falla” frecuentemente se entiende como sinónimo de “fractura”. Sin embargo, en el estudio de mecánica de materiales este no es el significado usual del término. Se dice que ocurre la falla cuando un miembro cesa de realizar satisfactoriamente la función para la cual estaba destinado. Por ejemplo, si una parte de una máquina se deforma excesivamente de modo que la máquina se

²¹ McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 4 ed. México. Alfaomega, 1991 p. 12.

vuelva inoperante, se considera que el miembro ha fallado, aunque los esfuerzos puedan ser bastante menores que los del punto de fluencia.

Por varias razones, algunas de las cuales se discuten a continuación, no es deseable diseñar un miembro para usarlo a su máxima capacidad. Se aplica un factor de seguridad al máximo esfuerzo utilizable (generalmente el del punto de fluencia) para obtener un esfuerzo de diseño admisible o de trabajo. Un esfuerzo admisible es aquel esfuerzo que no debería ser excedido en el diseño de un miembro. Algebraicamente, el esfuerzo admisible se determina como:

$$\sigma_{\text{admisible}} = \frac{\sigma_{\text{maximo}}}{\text{factor de seguridad}} \quad 4.2$$

El esfuerzo admisible, y por consiguiente, su factor de seguridad correspondiente, son especificados por alguna autoridad, en los códigos de construcción y especificaciones sobre edificios, o son elegidos por el proyectista después de considerar los requisitos especiales de diseño, las condiciones de servicio, y los materiales que se van a usar. En cualquier caso, debo elegirse un valor que esté basado en la experiencia y el buen criterio.

El valor elegido debe tener en cuenta tanto la seguridad como la economía. En otras palabras, debemos estar razonablemente seguros de que la falla no ocurrirá, y al mismo tiempo debemos ser conservadores y evitar que el tamaño de los miembros haga imposible producirlos económicamente.

Algunas de las consideraciones más importantes y necesarias al elegir un factor de seguridad (y por consiguiente un esfuerzo permisible) son:

- a) Conocimiento y exactitud de las cargas aplicadas. En el diseño de la mayoría de los miembros, debe estimarse la magnitud de las cargas aplicadas. Además, con frecuencia se hacen alteraciones en estructuras ya existentes, produciéndose de este modo cargas mayores que las anticipadas originalmente. El factor de seguridad proporciona cierta

amplitud en aquellos casos donde las cargas reales exceden a las cargas de diseño estimadas.

- b) Tipo de falla que ocurrirá. Los materiales frágiles o quebradizos, como el hierro colado no proporcionan ninguna advertencia cuando su fractura es inminente. Sin embargo, los materiales dúctiles, tales como el acero, se deforman considerablemente antes de la fractura, proporcionando así una advertencia del peligro. Normalmente se deberá aplicar un factor de seguridad menor a estos materiales dúctiles.
- c) Naturaleza de las cargas. Las cargas cíclicas, o que se repiten muchas veces, producen fatiga en los metales. Esta fatiga puede producir la fractura de un miembro a esfuerzos mucho menores que los que aceptaría si las cargas fueran estáticas. Cuando se elige un factor de seguridad, el proyectista debe considerar las cargas estáticas, dinámicas, cíclicas y variables.
- d) Efecto de la corrosión y deterioro. Los miembros que se inspeccionan con frecuencia y se mantienen en buenas condiciones son menos propensos a fallar inesperadamente. El desgaste excesivo en las partes móviles o el posible abuso de la función de un miembro debe considerarse en la fase de diseño y debe compensarse mediante una selección adecuada del factor de seguridad.
- e) Otras consideraciones. El proyectista debe también considerar factores tales como la confiabilidad del material, concentraciones de esfuerzos. Alta o baja temperatura de operación, gravedad de la falla, etc.

4.16 ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36

Características: producto de la más avanzada ingeniería, es fabricado con un punto mínimo de cedencia de 36,000PSI (248 MPa). La placa de acero calidad estructural A-36 es ampliamente recomendable para diseñar y construir estructuras y equipo menos pesado.

El acero estructural A36 se produce bajo la especificación ASTM A36. Abridando los perfiles moldeados en acero al carbono, placas y barras de calidad estructural para clavados, atornillados o soldados de la construcción de puentes, edificios, y estructuras de diferentes propósitos.

El acero estructural A36 o acero estructural con carbono, es hasta hace poco tiempo, el acero estructural básico utilizado más comúnmente en construcciones de edificios y puentes.

4.16.1 Composición Química

Tabla 4. Propiedades químicas de acero ASTM A36

PRODUCTO	VIGAS*	PLACAS**					BARRAS			
Espesor (in)	TODAS	¾"	¾" - 1 ½"	1 ½" - 2 ½"	2 ½" - 4"	Sobre 4"	¾"	¾" - 1 ½"	1 ½" - 4"	Sobre 4"
Espesor (mm)		Hasta 20mm	20mm a 40mm	40mm a 65mm	65mm a 100mm	Sobre 100mm	Hasta 20mm	20mm a 40mm	40mm a 100mm	Sobre 100mm
%C – máx.	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
%Mn – máx.	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	...	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
%P – máx.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
%S	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
%Si	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max
% Cu – mín. cuando el cobre es especificado en el acero	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

*El contenido de manganeso de 0.85 a 1.35%, y el contenido de silicio de 0.15 a 0.40% es requerido en vigas por encima de 426lb/ft o 634kg/m. ** por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo de carbono especificado, un aumento del 0,06% de manganeso por encima del máximo especificado se permitirá hasta un máximo de 1,35%

Fuente: <http://www.ferrocortes.com.co/laminas/lamina-calidad-estructural-astm-a36>

4.16.2 Soldabilidad

Según la norma ASTM A36/A36M-8, cuando el acero vaya a ser soldado, tiene que ser utilizado un procedimiento de soldado adecuado para el grado de acero y el uso o servicio previsto.

El acero A36 es conocido como un acero de fácil soldabilidad, por lo que se recomienda utilizar las siguientes tipos de soldaduras: 6010, 6011, 6013, 7018, 7024, 308, 309, 312, 316, ER70S-6, ER70S-3, E71T-1.

4.16.3 Requerimientos de tensión

El acero A-36 tiene como esfuerzo de fluencia mínimo de 36ksi. Además, es el único acero que puede obtenerse en espesores mayores a 8 pulgadas, aunque estas placas como excepción, solo están disponibles con esfuerzo de fluencia mínimo inferior especificado, siendo este 32ksi.

Normalmente, el material de conexión se especifica como A-36, sin importar el grado de sus propios componentes primarios. El esfuerzo último de tensión de este acero varía de 58ksi a 80 ksi; para cálculos de diseño se utiliza el valor mínimo especificado.

4.16.4 Propiedades mecánicas

Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Requerimientos a tensión*	
Láminas, Vigas* y barras	Ksi (Mpa)
Esfuerzo último	(400-550)
Esfuerzo de fluencia	36 (240)
Láminas y Barras,**,***	
Elongación en 8in. (200mm), min, %	20
Elongación en 2in. (50mm), min, %	23
Dureza	120-135 HB Dureza Brinell
*ver orientación del espécimen bajo la prueba a tensión según especificación A6. para la gama formas de brida sobre 426lb/ft (634kg / m), el 80 KSI (550Mpa) resistencia a la tensión máxima no se aplica una elongación mínimo en 2in (50mm) de 19% se aplica.	*** Punto de fluencia 32 KSI (220 MPa) para las placas de más de 8in (200mm) de espesor. Alargamiento de que no es obligatorio determinarle para placa de piso. Las placas de más de 24 in (600 mm) el requisito de elongación se reduce dos puntos porcentuales. Ver los ajustes de elongación en la sección de ensayo de tracción de la especificación A6

Fuente: <http://www.ferrocortes.com.co/laminas/lamina-calidad-estructural-astm-a36>

4.16.5 Aplicaciones

Las aplicaciones comunes del acero estructural A-36 es en la construcción, y en el moldeado en perfiles y láminas, usadas en edificios e instalaciones industriales; cables para puentes colgantes, atirantados y concreto reforzado; varillas y mallas electro soldada para el concreto reforzado; láminas plegadas usadas para techos y pisos. (Ferrecortes, 2015)²²

4.17 CONEXIONES

4.17.1 Tipos de uniones

Para que todos los elementos de la estructura metálica se comporten perfectamente según se ha diseñado es necesario que estén ensamblados o unidos de alguna manera. Para escoger el tipo de unión hay que tener en cuenta cómo se comporta la conexión que se va hacer y cómo se va a montar esa conexión. Existen conexiones rígidas, semirrígidas y flexibles. Algunas de esas conexiones a veces necesitan que sean desmontables, que giren, que se deslicen, etc. Dependiendo de ello tendremos dos tipos de uniones fundamentales:

- **4.17.1.1 Por Soldadura:** la soldadura es la más común en estructuras metálicas de acero y no es más que la unión de dos piezas metálicas mediante el calor. Aplicándoles calor conseguiremos que se fusionen las superficies de las dos piezas, a veces necesitando un material extra para soldar las dos piezas.
- **4.17.1.2 Por perno o tornillo de maquina:** el mismo sujetador puede ser identificado con un nombre distinto cuando sirve de alguna manera particular. Por ejemplo, un perno es un sujetador con cabeza y vástago

²²Ferrecortes, Acero Estructural ASTM A 36. (En línea). 30 Noviembre de 2015. Disponible en:<http://www.ferrocortes.com.co/laminas/lamina-calidad-estructural-astm-a36>

recto roscado para utilizarse con una tuerca, a fin de mantener unido un conjunto. Sin embargo el mismo sujetador se conoce como tornillo de maquina o tornillo de cabeza cuando queda roscado en un machuelado en vez de enroscarse en una tuerca.

En el diseño de máquinas, edificios o estructuras, al momento de ensamblar los elementos, se hace necesaria la unión en varios puntos. La resistencia así como la conexión adecuada es muy importante en el diseño y construcción.

Existen varios métodos para la conexión de elementos de estructuras metálicas. Pero son los de pernos y soldaduras los más utilizados.

Las conexiones por pernos se basan en insertar un perno en agujero perforado y apretarlos hasta obtener que las placas a unir se compriman y obtengan, alta fuerza entre ellas.

Las conexiones soldadas se hacen calentando una parte del material por medio de un electrodo, mediante un arco eléctrico, al producirse el arco eléctrico la temperatura se eleva, produciendo que parte de material se funda, junto con el electrodo, el recubrimiento del electrodo forma un escudo gaseoso impidiendo que el arco eléctrico sea contaminado por las impurezas del medio ambiente, también actúa como fundente permitiendo que las impurezas del proceso fluyan hacia la superficie del material fundido. Son muchos los electrodos existentes, los cuales se pueden utilizar dependiendo el requerimiento.

Básicamente existen dos tipos de soldadura, de traslape y a tope. Una junta de traslape, se hace traslapando una placa sobre la otra y colocando un cordón o (filete) de soldadura.

La soldadura a tope se realiza juntando a tope las placas y aplicando soldadura en la junta.

Los ensayos de soldadura han demostrado que una soldadura a tope, de penetración completa colocada adecuadamente, es tan o más resistente que el metal de las piezas por soldar. Por ende la resistencia de una conexión soldada a tope:

$$P = \sigma A$$

4.3

Donde:

A= área de la sección transversal de la placa más delgada.

σ = esfuerzo permisible en las placas.

Las soldaduras de filete, están sometidas a esfuerzos cortantes y se determina mediante:

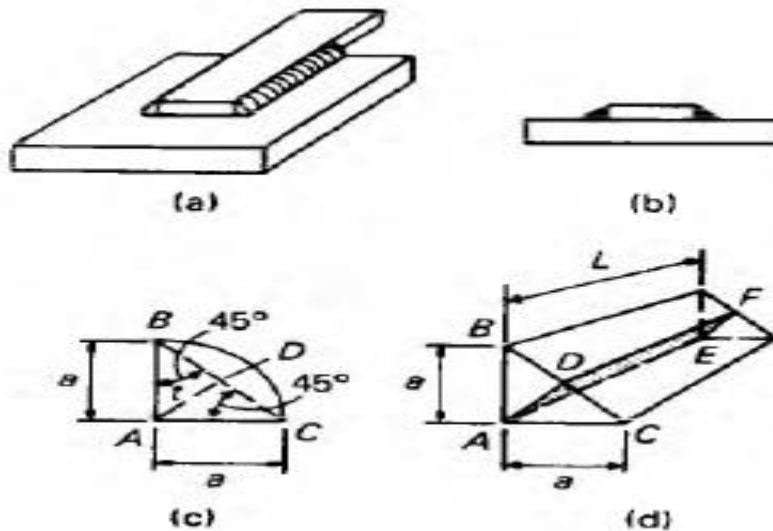
$$\tau = \frac{P}{A} \quad 4.4$$

Donde:

τ = esfuerzo cortante admisible.

A= área sometida a esfuerzo cortante.

Figura 14. Soldadura de filete



Fuente: FITZGERALD, Mecánica de materiales

El tamaño de una soldadura de filete es el tamaño del cateto o dimensión (a), que se indica en la figura 14(c), se supone que cada cateto es de igual longitud. La corona de la soldadura debería ser ligeramente convexa. Sin embargo se desprecia la convexidad y se supone que la soldadura va a lo largo de BDC figura 14(c) la “garganta” de la soldadura es la menor dimensión de la misma y se supone que es por donde falla una soldadura de filete en la figura 14(c) sería la (t).

El área que queda sujeta a cortante es el área sombreada ADEF de la figura 14(d), y se calcula como:

$$A = tL = a \sin 45^\circ L = 0.707aL \quad 4.5$$

Los electrodos son clasificados como E60, E70, E80, etc. El valor numérico es la resistencia última a tensión del metal de soldadura. De los anteriores electrodos se eligió el electrodo E70 debido a su resistencia, esfuerzo cortante, a su fácil aplicación y consecución. El electrodo referencia E7018S, además de lo anterior, es un electrodo con bajo contenido de hidrogeno, da la posibilidad de utilizarlo con corriente alterna o corriente continua, produce bajas perdidas por salpicadura, es de fácil encendido y la soldadura depositada da una excelente calidad radiográfica.

Los electrodos E70 son los más usados en trabajos estructurales, el cual posee una resistencia última de 70 klb/plg². El esfuerzo cortante admisible para un electrodo E70 es (0.30):

$$\tau = 0.30 (70 \text{ Klb Pulg}^2) = 21 \text{ Klb Pulg}^2 \quad 4.6$$

La resistencia de una soldadura de filete para un electrodo E70 es

$$P = \tau A = 21000 (0.707)aL \quad 4.7$$

$$P = 14850aL \quad 4.8$$

Donde:

P= fuerza cortante admisible, en lb.

a = Tamaño de la soldadura, en plg.

L = longitud de la soldadura, en plg.

Para una longitud de 1 plg de soldadura, la ecuación 4.8 se escribe como:

$$q = 14850 * a \quad 4.9$$

Donde:

q = Carga que puede soportar cada plg de soldadura, en lb/plg

a = tamaño de la soldadura, en plg.

4.17.2 Tipos de falla en juntas

Las juntas pueden fallar por tensión, aplastamiento o cortante.

4.17.2.1 Falla por tensión. Una falla por tensión o por desgarramiento ocurre en la sección sujeta al mayor esfuerzo de tensión, es decir, a través de los agujeros en la placa. El ancho neto es el ancho total de la sección menos los diámetros de los agujeros. El diámetro de un agujero se toma como el tamaño nominal del tornillo más 1/8 plg. El área neta puede expresarse como:

$$A_{Neta} = b - D * t \quad 4.10$$

Donde;

b = ancho total de la sección neta.

D = diámetro de los agujeros a través de la sección.

t = espesor de la placa.

4.17.2.2 Falla por aplastamiento, el área proyectada de un remache para una falla por aplastamiento se expresa como:

$$Ab = dt \quad 4.11$$

Donde:

d = diámetro nominal de remache en plg,

t = espesor de la placa en plg.

4.17.2.3 Falla por cortante. El tercer tipo de falla que puede ocurrir es una junta remachada es por corte de los tornillos.

El área considerada al investigar una falla por cortante en un tornillo es:

$$A_s = 1/4\pi d^2 \quad \mathbf{4.12}$$

Donde:

d = diametro nominal del remache

(Fitzgerald R. W., 1996)²³

²³ FITZGERALD, Robert W. Mecánica de Materiales. México: Alfaomega, 1996. 405p.

5 MARCO CONSTITUCIONAL, LEGAL Y NORMATIVIDAD.

5.1 LEGISLACIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN COLOMBIA

En los últimos años la Legislación Colombiana ha venido sufriendo una serie de cambios que la sitúan como una de las mejores de América Latina y a posicionarse como una Nación de proyección en la protección de los trabajadores; las normas existentes se han vuelto más exigentes en los temas de control de los accidentes de trabajo y de las enfermedades profesionales, así como también en la exigencia del control de las actividades de alto riesgo.

La **Ley 100 de 1993** estableció la estructura de la **Seguridad Social** en el país, la cual consta de tres componentes como son:

- El Régimen de Pensiones
- Atención en Salud
- Sistema General de Riesgos Profesionales.

Cada uno de los anteriores componentes tiene su propia legislación y sus propios entes ejecutores y fiscales para su desarrollo.

En el caso específico del **Sistema de Riesgos Profesionales**, existe un conjunto de normas y procedimientos destinados a prevenir, proteger y atender a los trabajadores de los efectos de las enfermedades profesionales y los accidentes que puedan ocurrirles con ocasión o como consecuencia del trabajo que desarrollan.

El pilar de esta Legislación es el **Decreto Ley 1295 de 1994**, cuyos objetivos buscan establecer las actividades de promoción y prevención tendientes a mejorar las condiciones de trabajo y salud de los trabajadores, fijar las prestaciones de atención en salud y las prestaciones económicas derivadas de las contingencias de los accidentes de trabajo y enfermedad profesional, vigilar el cumplimiento de cada una de las normas de la Legislación en Salud Ocupacional y el esquema de administración de Salud Ocupacional a través de las ARP.

En la **Resolución 001016 de 1989 en el Artículo 4 y Parágrafo 1**, se obliga a los empleadores a contar con un programa de Salud Ocupacional, específico y particular, de conformidad con sus riesgos potenciales y reales y el número de los trabajadores.

Dada la complejidad y magnitud de esta tarea, se hace necesario que los programas de Salud Ocupacional sean entes autónomos, que dependan directamente de una unidad *Staff* de la empresa, para permitir una mejor vigilancia y supervisión en el cumplimiento de cada una de las normas emanadas de la Legislación de Salud Ocupacional.

A continuación se describen los principales Decretos y Resoluciones que reglamentan la **Salud Ocupacional en Colombia**:

- **Ley 9a. De 1979**, es la Ley marco de la Salud Ocupacional en Colombia.
- **Resolución 2400 de 1979**, conocida como el "Estatuto General de Seguridad".
- **Decreto 614 de 1984**, que crea las bases para la organización y administración de la Salud Ocupacional.
- **Resolución 2013 de 1986**, que establece la creación y funcionamiento de los Comités de Medicina, Higiene y Seguridad Industrial en las empresas.
- **Resolución 1016 de 1989**, que establece el funcionamiento de los Programas de Salud Ocupacional en las empresas.
- **Decreto 1295 de 1994**, que establece la afiliación de los funcionarios a una entidad Aseguradora en Riesgos Profesionales (ARP).
- **Decreto 1346 de 1994**, por el cual se reglamenta la integración, la financiación y el funcionamiento de las Juntas de Calificación de Invalidez.
- **Decreto 1772 de 1994**, por el cual se reglamenta la afiliación y las cotizaciones al Sistema General de Riesgos Profesionales.
- **Decreto 1832 de 1994**, por el cual se adopta la Tabla de Enfermedades Profesionales.

- **Decreto 1834 de 1994**, por el cual se reglamenta el funcionamiento del Consejo Nacional de Riesgos Profesionales.(Ocupacional, 2014)²⁴
- **Resolución 2400 /1979, art 388 al 397.**

1. Todo trabajador que maneje cargas pesadas por si solo deberá realizar su operación de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- a) Se situara frente al objeto con los pies suficientemente separados para afirmarse bien, sin exagerar la extensión de los músculos abdominales adoptara una posición cómoda que permita levantar la carga tan verticalmente como sea posible.
- b) Se agachara para alcanzar el objeto doblando las rodillas, pero conservando el torso erecto.
- c) Levantara el objeto gradualmente, realizando la mayor parte del esfuerzo con los músculos de las piernas y de los hombros
- d) Cuando el levantamiento de cargas se realice en cuadrilla, el esfuerzo de todos debe ser equitativo, Coordinado y un trabajador, uno solo deberá dar las ordenes de mando.
- e) Se concederá a los trabajadores dedicados constantemente al levantamiento y transporte de carga, intervalos de pausas o periodos libres de esfuerzo físico extraordinario
- f) La carga máxima que un trabajador, de acuerdo a su aptitud física, sus conocimientos y experiencia que podrá levantar será hombres 25 kg de carga compacta y mujeres 12.5 Kg.(Rodrigo & Emiro, 1979)²⁵

²⁴ Universidad del valle. Salud ocupacional. (En Línea).1993. 16 Noviembre de 2015. Disponible en: saludocupacional.univalle.edu.co/marcolegal.htm

²⁵MARÍN BERNAL. Rodrigo; JÁCOME ILLERA. Carlos. Ley 2400 de 1979. (En línea). 18 Mayo de 1979. Disponible en: <http://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1509/industrial%20safety%20statute.pdf>

6. INGENIERÍA DEL PROYECTO.

En esta sección se realizara el cálculo de los componentes principales de la estructura soporte del electroimán y de la estructura soporte del equipo para cambio de machos. Para cada componente se seleccionara para este caso el tipo de perfil que puede ser utilizado para una posterior fabricación. Se basaran los cálculos tomando materiales en acero estructural ASTM A36 debido a sus propiedades mencionadas...en el numera 4.16 ...

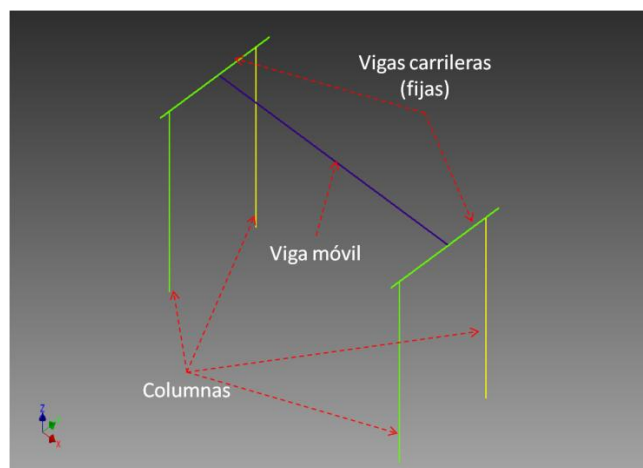
6.1 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

El diseño del equipo propuesto, para cambio de machos en prensas hidráulicas, es básicamente un dispositivo que tiene movimiento en tres ejes, X, Y y Z.

Se diseñará una estructura metálica, compuesta por cuatro columnas, sobre las cuales estarán soportadas dos vigas carrileras y sobre estas una viga móvil. Esta viga a su vez esta soportada en los extremos, sobre dos reductores, uno a cada lado, los cuales se desplazan sobre las vigas carrileras, de modo que se consigue desplazamiento en un primer eje.

Ésta estructura servirá como soporte para el equipo para montaje y desmontaje de machos.

Figura 15. Estructura soporte del equipo para montaje y desmontaje de machos



Fuente: autores

A través de la viga móvil se desplazara el equipo soporte electroimán mediante un trolley (mecanismo motorizado) que permita el movimiento longitudinal, buscando obtener movimiento en un segundo eje, (Fig. 16)

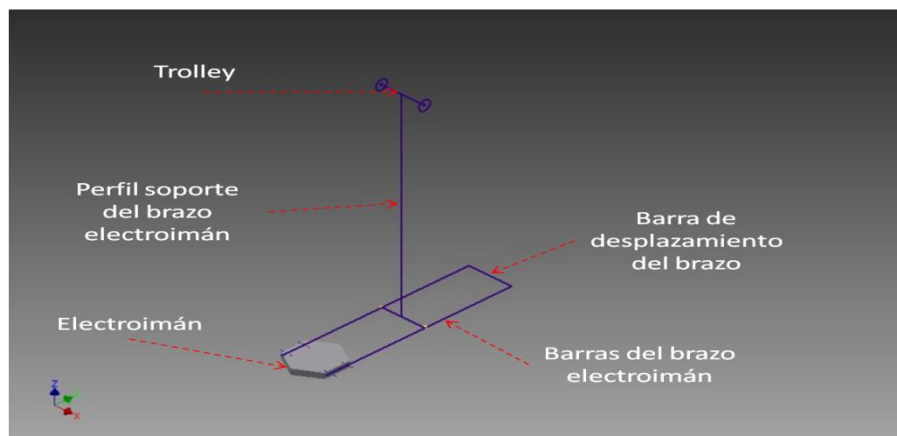
Figura 16. Trolley para desplazamiento del equipo para montaje y desmontaje de machos a través de la viga móvil.



Fuente: <http://nicoju6710.tumblr.com/yale-electric-hoist-trolley>

Al trolley vendrá sujeto un perfil, el cual en su parte inferior será perforado para la instalación de un buje. Por el buje se introducirá un pasador, el cual servirá como conexión y soporte entre el perfil y dos barras laterales en acero. Uno de los extremos de las barras de acero soportara el electroimán, que será el encargado de atraer y retener los punzones.

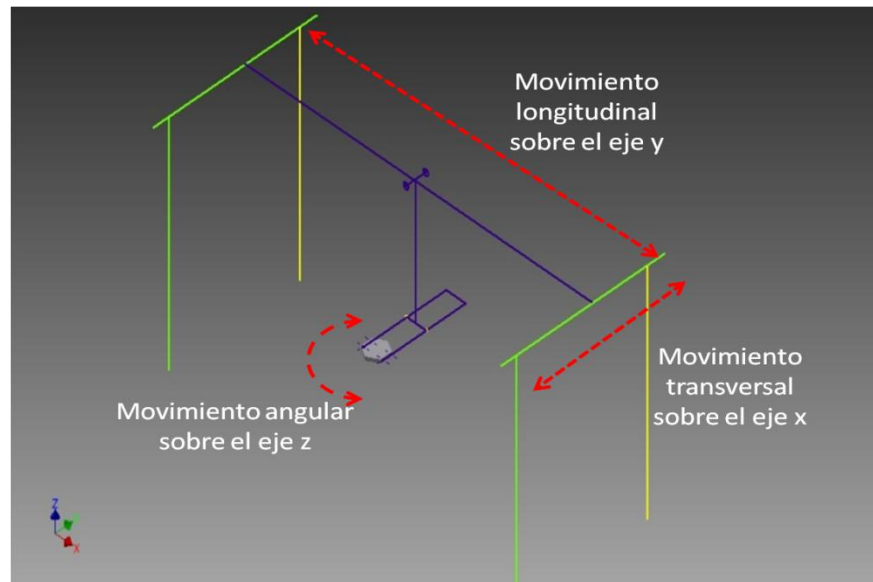
Figura 17. Equipo para montaje y desmontaje de machos



Fuente: autores

Para tener movimiento en las barras rectangulares de acero, se le instalara un motor reductor acoplado a un sinfín, obteniendo movimiento angular en un tercer eje.

Figura 18. Esquema simplificado del equipo para montaje y desmontaje de machos



Fuente: autores

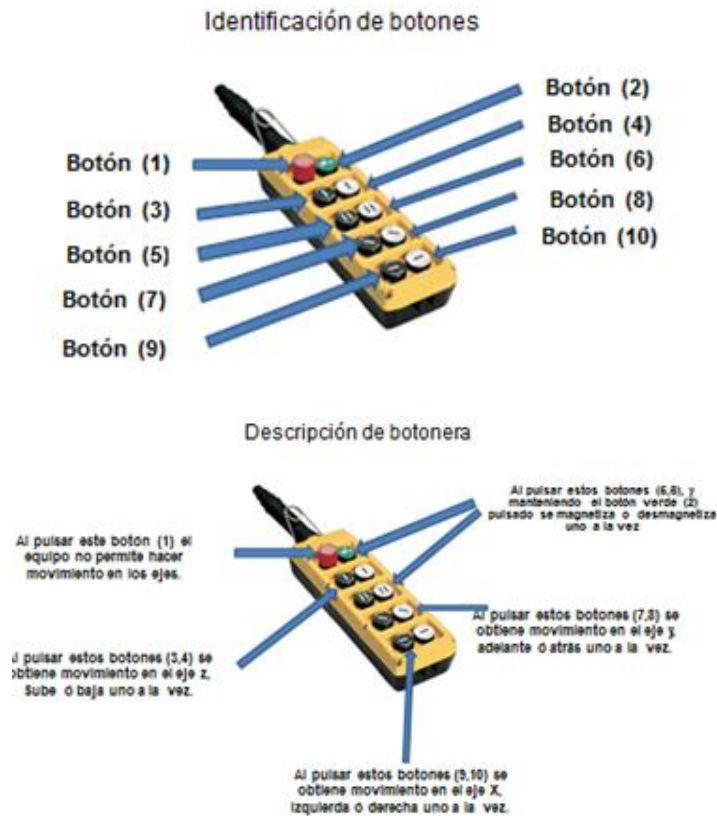
El diseño y cálculo del equipo están enfocados principalmente hacia la parte mecánica y estructural, por ende para su posterior fabricación se deberá tener en cuenta todo lo relacionado con la instalación eléctrica y de control para que sea un equipo útil y seguro.

6.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

6.2.1 Botonera de accionamiento equipo

Para hacer maniobrable al equipo, éste contara con una botonera, desde la cual el operador podrá comandar las ordenes de movimiento en los ejes X, Y, Z y magnetizar-desmagnetizar los machos.

Figura 19. Botonera de accionamiento equipo para cambio de machos



Fuente: www.ledcontrols.com.mx

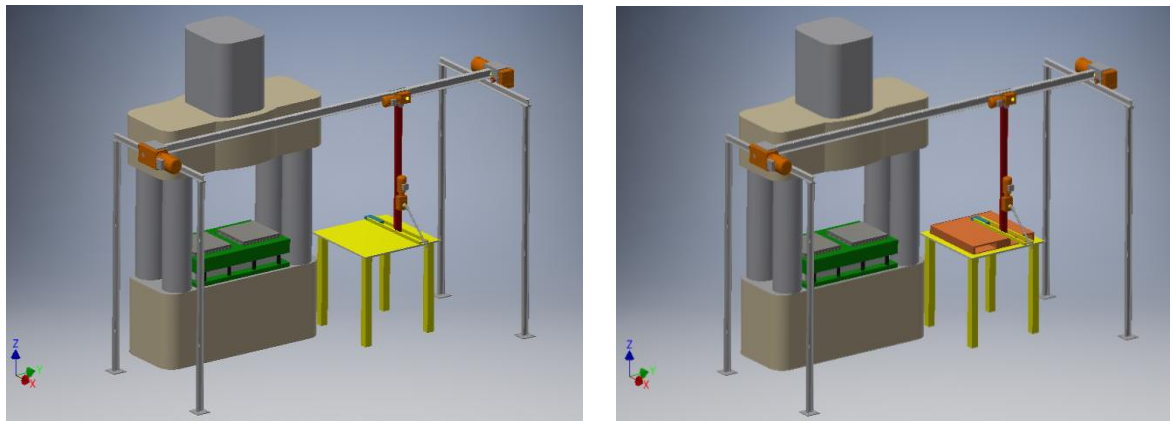
- El botón N° (1), es botón de seguridad. Cuando éste se halle oprimido, no permite movimientos del equipo.
- El botón N° (2), de color verde, funciona en conjunto con los botones (5) ó (6). Al oprimir simultáneamente los botones (2) y (5), el equipo libera, desenergiza o desmagnetiza el electroimán.
- Al oprimir nuevamente y simultáneamente los botones (2) y (5), el equipo atrae (magnetiza), energiza el electroimán.
- Con los botones (3) ó (4), se logra que el equipo suba o baje respectivamente el brazo (movimiento angular), obteniendo movimiento en el eje Z.
- Al oprimir los botones (7) ú (8), el equipo tiene desplazamiento en el eje Y, (movimiento longitudinal) derecha e izquierda.

- Con los botones (9) ó (10), al ser manipulados, el equipo se desplazara en el eje X, atrás ó adelante (movimiento transversal).

6.2.2 Funcionamiento del equipo para desmontaje del macho

- I. El equipo está ubicado sobre una mesa sobre la cual, se ubicara un pallet o estiba para posteriormente ser trasladada mediante un montacargas. La mesa sirve de alimentador de machos, no interfiere en el proceso y siempre será el punto de inicio.

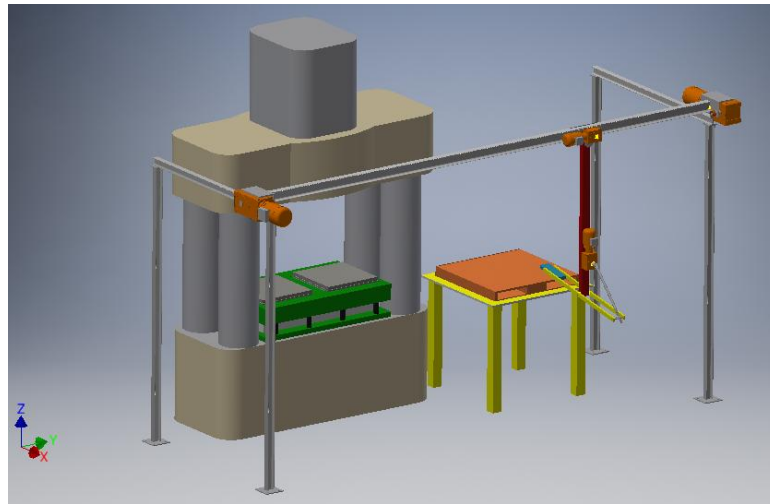
Figura 20. Punto de inicio equipo para cambio de machos



Fuente: autores

- II. Cuando el equipo no esté en funcionamiento, el botón N° (1) debe estar obturado, por ende, lo primero que se debe hacer es accionar el botón N° (1), para habilitar el movimiento del equipo.
- III. Al oprimir el botón N° (4) el equipo se desplaza en el eje Z, sube, buscando retirarse un poco de la mesa, como lo muestra la figura 21.

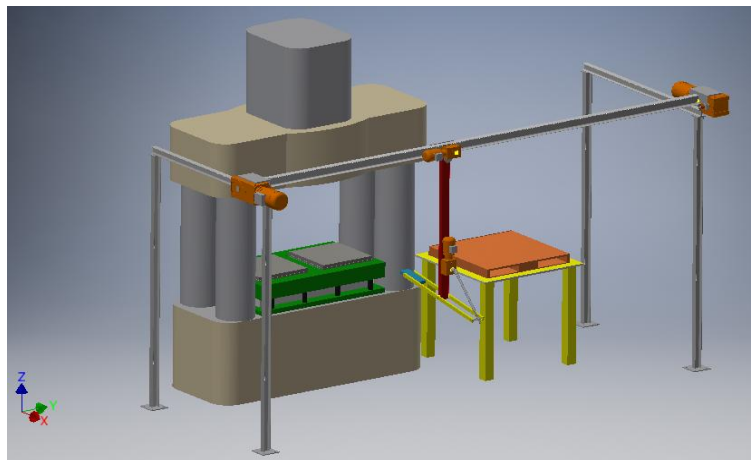
Figura 21. Desplazamiento en el eje Z



Fuente: autores

- IV. Al estar retirado de la mesa y oprimir el botón N° (10), el equipo se mueve hacia delante, hasta el punto que el brazo no choque con la estructura de la prensa, ni los equipos asociados (ductos, guardas).
- V. En este punto el equipo se puede desplazar en el eje Y, hacia la Izquierda, oprimiendo el botón N° (8), hasta lograr posicionar el brazo, frente al macho a desmontar.

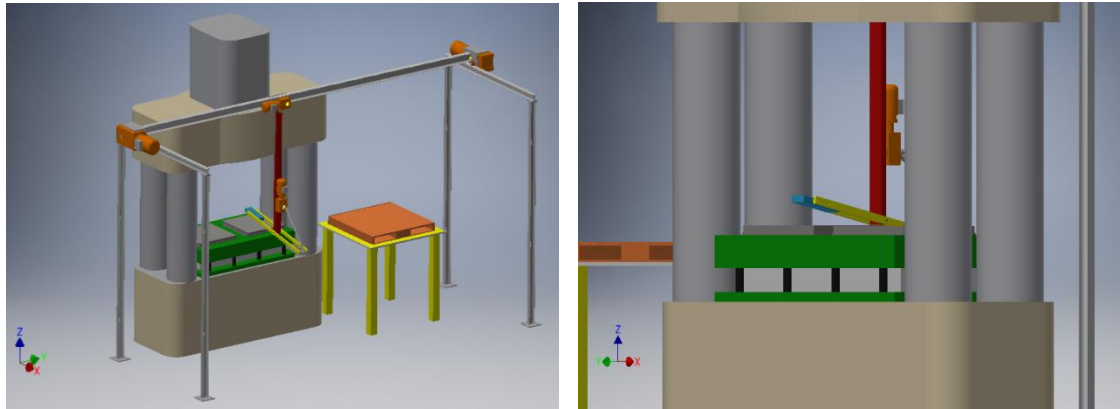
Figura 22. Ubicación del equipo frente al macho



Fuente: autores

- VI. Al oprimir el botón N° (9) el equipo se desplaza hacia atrás y el brazo en este punto ya debe estar sobre el macho que se va a intervenir. (Ubicarlo en el centro del macho a manipular).

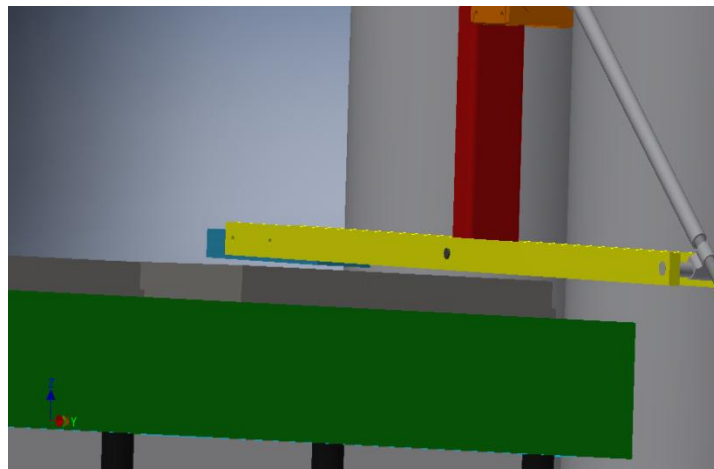
Figura 23. Ubicacion sobre el macho a desmontar.



Fuente: autores

- VII. Como el brazo en el que está instalado el electroimán, está un poco alto respecto al macho, se debe bajar, hasta que quede en contacto con el macho, esto se logra oprimiendo el botón N° (3).

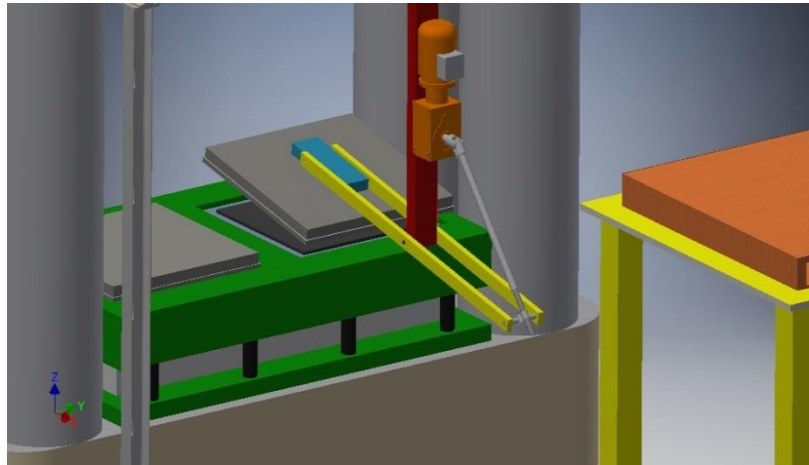
Figura 24. Ubicación electroimán sobre el macho



Fuente: autores

- VIII. Al estar en contacto el electroimán con el macho, se pulsan los botones (2) y (6), simultáneamente por 4 segundos y el electroimán atrae al macho.
- IX. Se oprime el botón N° (4) con el fin de separar al macho del molde, hasta lograr que haya una distancia entre ellos, es decir no estén en contacto.

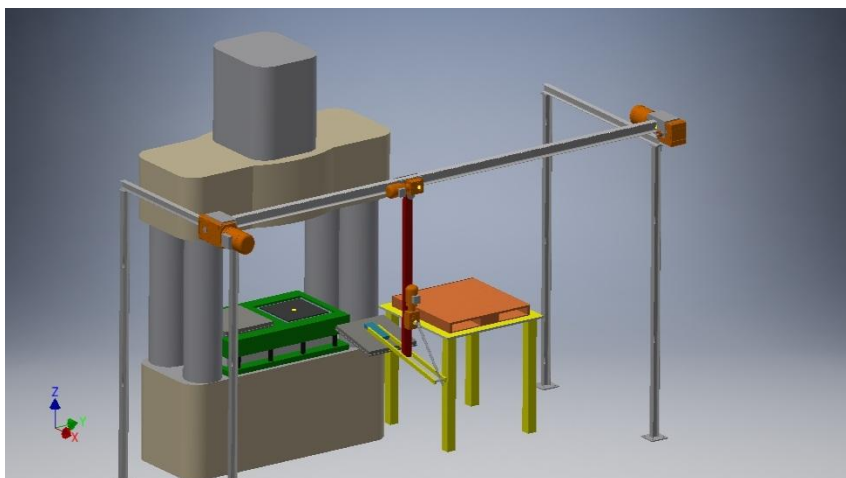
Figura 25. Elevación en Z del macho a desmontar.



Fuente: autores

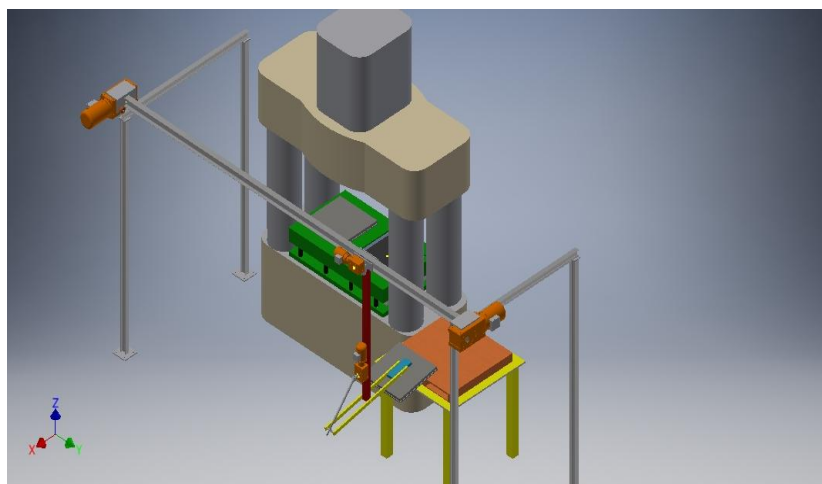
- X. Al oprimir el botón N° 10 el equipo se desplaza en el eje X hacia delante, retirándose del molde, pero llevando consigo el macho a cambiar, esto gracias al electroimán. Figura 26.
- XI. Cuando se ha separado lo suficiente, que no choca contra la prensa ni los equipos asociados, el equipo se puede desplazar hacia la derecha, mediante el botón N° (7). Figura 27.

Figura 26. Desplazamiento en X desmontaje del macho



Fuente: autores

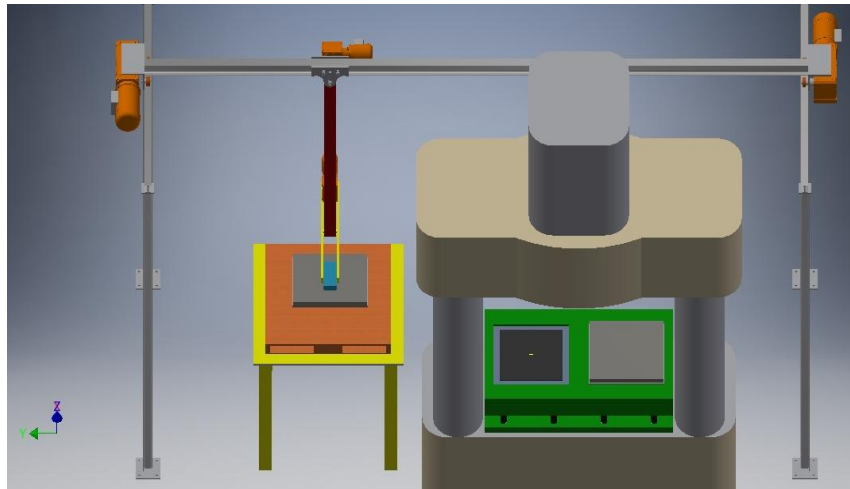
Figura 27. Desplazamiento en Y desmontaje del macho



Fuente: autores

- XII. En la ubicación que tiene el equipo, se puede desplazar en el eje X, hacia atrás, oprimiendo el botón N° (9), ubicando el macho en la mesa.

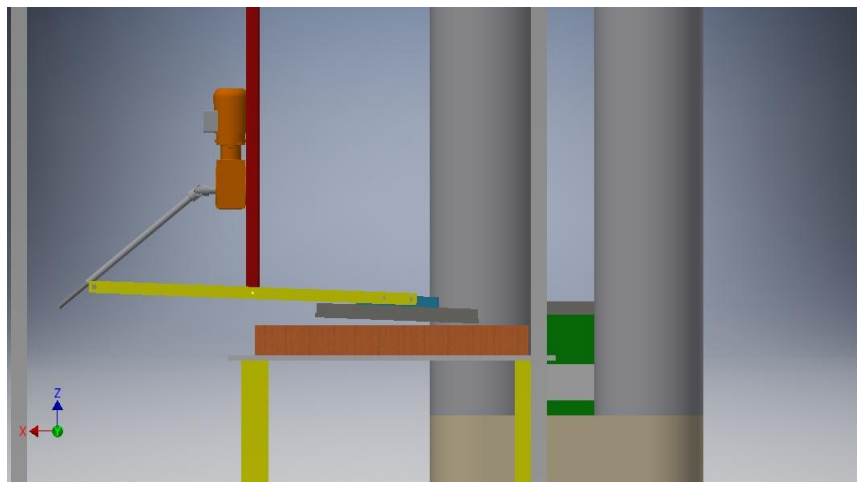
Figura 28. Ubicación sobre el pallet. Desmontaje del macho.



Fuente: autores

- XIII. Como el macho no está soportado en la mesa, adicionalmente aún se encuentra sujeto al electroimán es decir magnetizado, se debe hacer que el brazo baje hasta que el macho descansa sobre el pallet, esto se hace con botón N° (3).

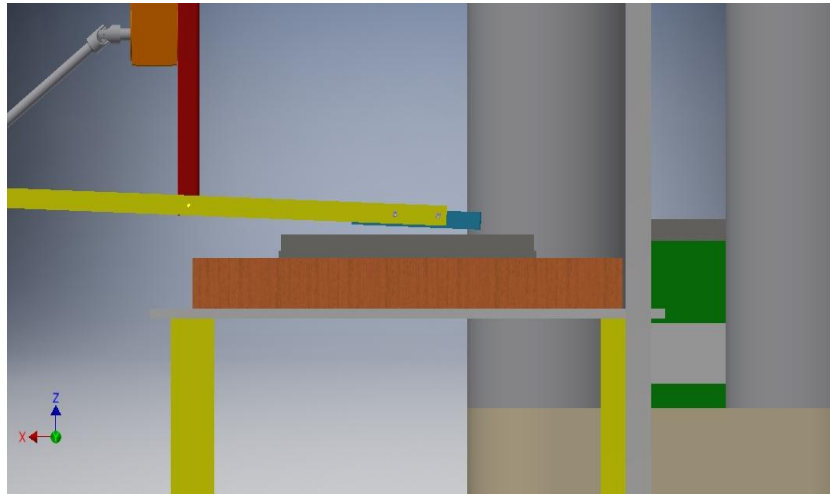
Figura 29. Ubicación macho sobre el pallet. Desmontaje del macho.



Fuente: autores

- XIV. Cuando el macho, está en contacto con la mesa, es decir descansa sobre el pallet, se oprimen los botones (2) y (5) simultáneamente hasta que se desmagnetiza el macho.

Figura 30. Desmagnetizar macho sobre el pallet. Desmontaje del macho.



Fuente: autores

Para el montaje del macho el proceso es similar, iniciando con el macho ubicado en el pallet sobre la mesa hasta ubicarlo en el molde.

6.3 CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL ELECTROIMÁN

Se toman los valores de fuerza hacia abajo y los momentos de fuerza en dirección horaria positivos.

6.3.1 Cálculo de las barras del brazo electroimán

El valor de la masa de la carga que se va a manipular se estableció en 200Kg (este es el valor máximo utilizado por los fabricantes de equipos para cambio de machos) y el valor de la masa del electroimán en 5Kg (valor de referencia, dependerá del fabricante del electroimán), debido a esto se tiene:

$$F_1 = m_1 + m_2 * g \quad 6.1$$

Donde:

F_1 = Fuerza ejercida en el extremo del brazo

m_1 = masa de la carga que se va a manipular

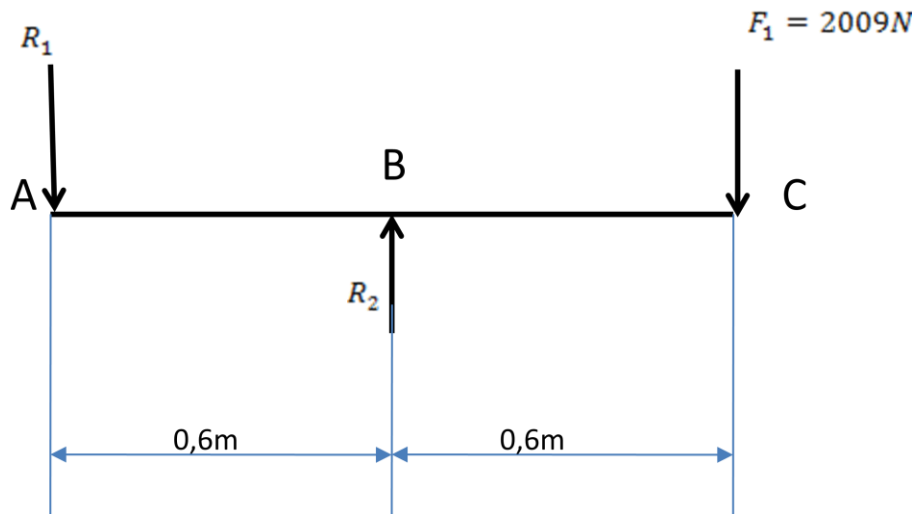
m_2 = masa del electroiman

g = gravedad

$$F_1 = 205\text{Kg} * 9.8\text{m/s}^2 \quad 6.2$$

$$F_1 = 2009\text{N} \quad 6.3$$

Figura 31. Diagrama de fuerzas sobre las barras del brazo electroimán



Fuente: autores

Realizando sumatoria de momentos en A=0 se tiene:

$$M_A = -R_2 \cdot 0.6\text{m} + 2009\text{N} * 1.2\text{m} = 0 \quad 6.4$$

$$R_2 = \frac{2410.8\text{Nm}}{-0.6\text{m}} \quad 6.5$$

Se halla el valor de la reacción (R_2) en B:

$$R_2 = -4018\text{N} \quad 6.6$$

Realizando sumatoria de momentos en B=0 se tiene:

$$M_B = -R_1 \cdot 0.6\text{m} + 2009\text{N} \cdot 0.6\text{m} = 0 \quad 6.7$$

$$R_1 = \frac{-1205.4\text{Nm}}{-0.6\text{m}} \quad 6.8$$

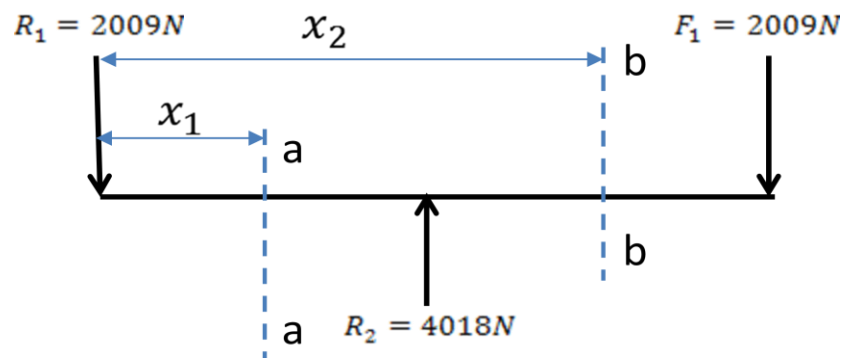
Se halla el valor de la reacción (R_1) en A:

$$R_1 = 2009\text{N} \quad 6.9$$

Ahora se construyen los diagramas de cortante y momento flexionante.

Para hallar las fuerzas cortantes sobre las barras soporte se realizan cortes a-a y b-b a una distancia X_1 y X_2 de R_1 .

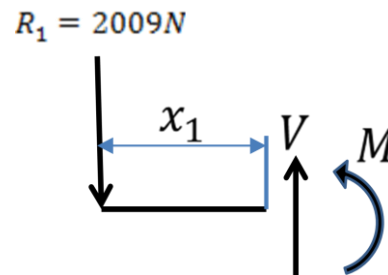
Figura 32. Diagrama de fuerzas cortantes sobre la barra del brazo electroimán



Fuente: autores

A continuación se realiza un diagrama de cuerpo libre en los cortes:

Figura 33. Diagrama de fuerzas en los cortes



Fuente: autores

Realizando sumatoria de fuerzas en $V=0$ se tiene:

$$F_V = 0 \quad 6.10$$

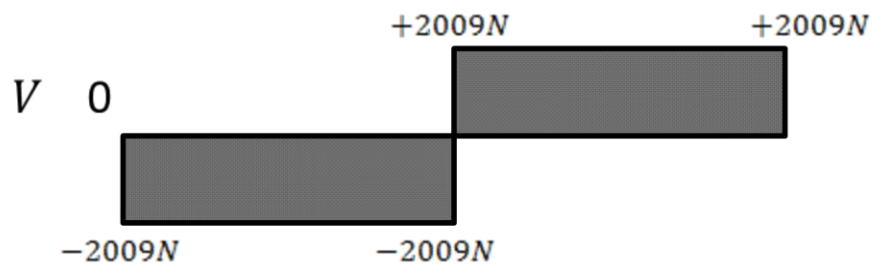
$$V = R_1 = 2009N \quad 6.11$$

Por lo tanto la fuerza cortante en cualquier punto desde R_1 hasta $x_1 = 0.6m$ es equivalente a 2009N.

Debido a que las cargas están distribuidas equitativamente se deduce que la fuerza cortante desde R_2 hasta $x_2 = 1.2m$ es equivalente a 2009N.

A continuación se obtiene el diagrama de fuerzas cortantes.

Figura 34. Diagrama de fuerzas cortantes



Fuente: autores

Para obtener el momento flexionante máximo se usa la siguiente ecuación:

$$M_{\max} = \frac{FL}{4} \quad 6.12$$

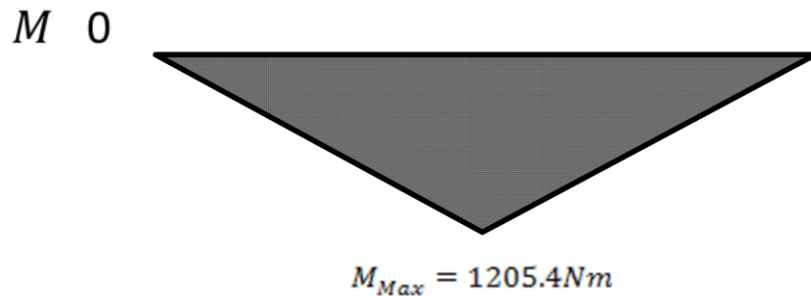
Donde: F=fuerza máxima ejercida sobre la viga y L=longitud de la viga

$$M_{\max} = \frac{4018\text{N} \cdot 1.2\text{m}}{4} \quad 6.13$$

$$M_{\max} = 1205.4\text{Nm} \quad 6.14$$

Se determina que el valor de momento flexionante máximo se encuentra en el centro de la viga y va en dirección hacia abajo como se representa en el diagrama de momentos.

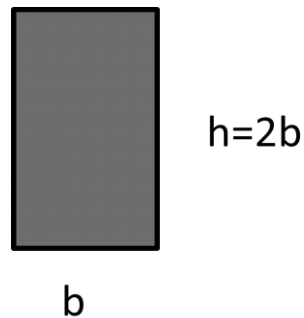
Figura 35. Diagrama de momento flector



Fuente: autores

Tomando como perfil para el brazo una barra rectangular con $h = 2b$ se halla la magnitud de sus lados.

Figura 36. Perfil de la barra del brazo electroimán.



Fuente: autores

En la tabla 3 encontramos el esfuerzo admisible (σ_{Adm}), para el acero A-36 y tomando un factor de seguridad de 2 tenemos:

$$\sigma_{Adm} = \frac{248\text{MPa}}{2} \quad \mathbf{6.15}$$

$$\sigma_{Adm} = 124\text{Mpa} \quad \mathbf{6.16}$$

$$M_{Max} = 1205.4\text{Nm} \quad \mathbf{6.17}$$

$$M_{Max} = \frac{1205.4\text{Nm}}{2} = 602.7\text{Nm} \text{ Para una sola barra} \quad \mathbf{6.18}$$

Mediante la ecuación 6.19 se determina el módulo de sección (S) para la barra:

$$S = \frac{M_{Max}}{\sigma_{Adm}} \quad \mathbf{6.19}$$

$$S = \frac{602.7\text{Nm}}{124 \times 10^6 \text{N/m}^2} \quad \mathbf{6.20}$$

$$S = 4.86 \times 10^{-6} \text{m}^3 \quad \mathbf{6.21}$$

De la ecuación 6.22 se deduce la altura del lado de la barra:

$$S = \frac{I}{C} \quad \mathbf{6.22}$$

$$S = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6} \quad \mathbf{6.23}$$

Donde:

I = momento de inercia

C = distancia desde el eje centroidal al extremo del perfil

Como $b=h/2$ para la barra rectangular tenemos:

$$S = \frac{h^3}{12} = 4.86 \times 10^{-6} \text{m}^3 \quad \mathbf{6.24}$$

$$h = \sqrt[3]{4.86 \times 10^{-6} \text{m}^3 * 12} \quad \mathbf{6.25}$$

$$h = 0.038 \text{m} \quad \mathbf{6.26}$$

$$h = 38.78 \text{mm} \quad \mathbf{6.27}$$

Se selecciona una barra rectangular de $h=40\text{mm}$ y $b=20\text{mm}$

Finalmente calculamos la masa de las dos barras:

Masa de la barra por unidad de longitud= 6.28Kg/m

$$\text{Masa de las dos barras} = 6.28\text{Kg/m} * 1.2\text{m} * 2 = 15.07\text{Kg} \quad \mathbf{6.28}$$

Figura 37. Barra del brazo electroimán

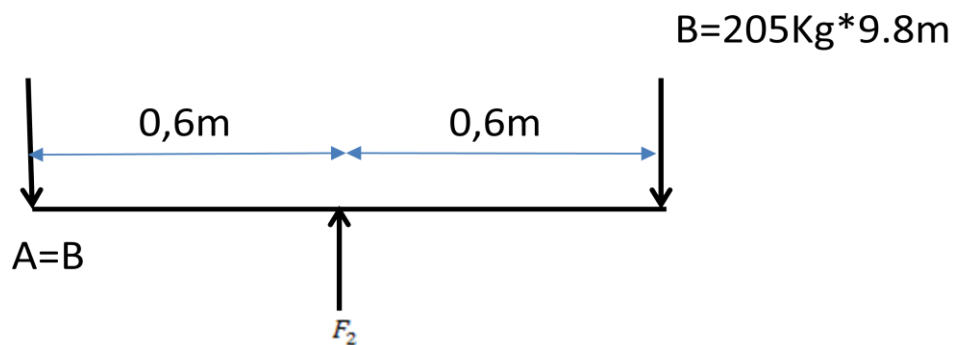


Fuente: autores

6.3.2 Cálculo del pasador

Se determina la fuerza a la que estará sometido el pasador que conecta el perfil del brazo y la barra del brazo, el cual soportará esfuerzo cortante.

Figura 38. Diagrama de fuerzas sobre el pasador



Fuente: autores

Realizando sumatoria de momentos en A=0 se tiene:

$$M_A = F \cdot 0.6m - 2009N \cdot 1.2m = 0 \quad \mathbf{6.29}$$

La carga F_2 final es la resultante de la suma de la carga y el peso de las barras.

$$F_2 = \text{carga} + \text{peso de las barras} \quad \mathbf{6.30}$$

$$F_2 = 4018\text{N} + 147.71\text{N} \quad \mathbf{6.31}$$

$$F_2 = 4165.7\text{N} \quad \mathbf{6.32}$$

Debido a que la fuerza estará soportada por dos (2) barras entonces, la fuerza se reduce a la mitad para el pasador.

$$F_{\text{pasador}} = \frac{F_2}{2} \quad \mathbf{6.33}$$

$$F_{\text{pasador}} = \frac{4165.7\text{N}}{2} = 2082.85\text{N} \quad \mathbf{6.34}$$

Se calcula el esfuerzo admisible a cortante para el pasador.

De la tabla 3 se toma el valor de esfuerzo de fluencia a cortante (T_Y) para el acero A-36 y tomando un factor de seguridad $n = 2$ se tiene:

$$T_Y = 145 \text{ MPa} \quad \mathbf{6.35}$$

$$T_{\text{adm}} = \frac{T_Y}{n} = \frac{145\text{MPa}}{2} \quad \mathbf{6.36}$$

$$T_{\text{adm}} = 72.5 \text{ MPa} \quad \mathbf{6.37}$$

Donde:

T_{adm} = esfuerzo admisible a cortante

A continuación se halla el área de la sección transversal (A) mínima para soportar el esfuerzo admisible y se determina el área de sección transversal mínimo del pasador.

$$T = \frac{F_{\text{pasador}}}{A} \quad 6.38$$

$$A = \frac{F}{T} = \frac{2082.85\text{N}}{72.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2} \quad 6.39$$

$$A = 0.02873 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad 6.40$$

De la ecuación 6.41 se deduce el diámetro (D) del pasador utilizando el área de la sección transversal (A) para una circunferencia hallada en el paso anterior.

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \quad 6.41$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad 6.42$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.02873 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{\pi}} \quad 6.43$$

$$D = 6.05 \times 10^{-3} \text{ m} \quad 6.44$$

$$D = 6.05 \text{ mm} \quad 6.45$$

De acuerdo al resultado anterior y ya que no es muy común esta medida para el diámetro del pasador, se selecciona un pasador con una medida de diámetro más comercial.

$$D = 8 \text{ mm} \quad 6.46$$

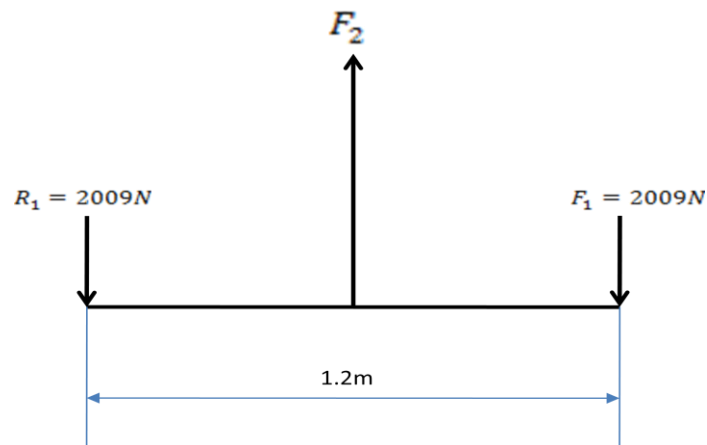
Figura 39. Buje y Pasador



Fuente: autores

6.3.3 Cálculo del perfil soporte del brazo electroimán

Figura 40. Diagrama de fuerzas sobre el perfil soporte del brazo electroimán



Fuente: autores

La carga F_2 , que ejerce un esfuerzo de tensión sobre el perfil soporte del brazo, es la resultante de la suma de la carga y el peso de las barras.

$$F_2 = 4018N + 147.71N$$

6.47

Se halla el área mínima de sección transversal para el perfil.

$$A_{\min} = \frac{F_2}{0.5\sigma_Y} \quad \mathbf{6.48}$$

$$A_{\min} = \frac{4165.71\text{N}}{0.5(248 \times 10^6 \text{Pa})} \quad \mathbf{6.49}$$

$$A_{\min} = 3.36 \times 10^{-5} \text{m}^2 \quad \mathbf{6.50}$$

Ahora se determina el área de los agujeros que irán en el perfil. Un agujero en la parte superior que servirá como conexión con el Trolley y otro en la parte inferior para el pasador. Para el pasador se agrega un buje exterior que servirá para su desgaste.

Diámetro del pasador=8mm

Diámetro exterior del buje=20mm

$$A_{\text{agujero}} = \pi r^2 \quad \mathbf{6.51}$$

$$A_{\text{agujero}} = 314.16 \text{mm}^2 \quad \mathbf{6.52}$$

$$A_{\text{agujero}} = 3.14 \times 10^{-4} \text{m}^2 \quad \mathbf{6.53}$$

$$A_{\text{Efectiva}} = A_{\min} + (A_{\text{agujero}} * \# \text{agujeros}) \quad \mathbf{6.54}$$

$$A_{\text{Efectiva}} = 3.36 \times 10^{-5} \text{m}^2 + (3.14 \times 10^{-4} \text{m}^2 * 4) \quad \mathbf{6.55}$$

$$A_{\text{Efectiva}} = 1.29 \times 10^{-3} \text{m}^2 \quad \mathbf{6.56}$$

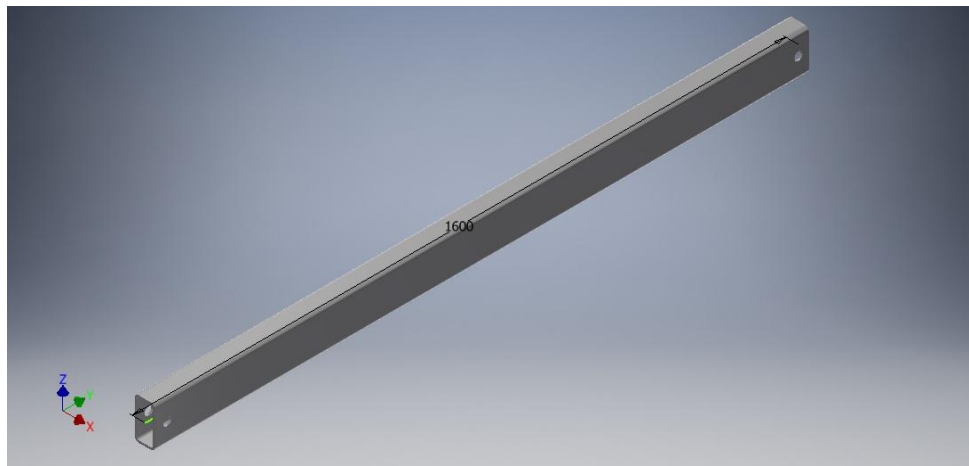
Del anexo D se selecciona un perfil rectangular 100 50.5 con un $A_{\text{Efectiva}} = 1.31 \times 10^{-3} \text{m}^2$ y una masa por unidad de longitud de 10.31Kg/m.

Calculando la masa del perfil se tiene:

$$m_{\text{Perfil}} = \frac{10.31\text{Kg}}{\text{m}} * 1.6\text{m} \quad 6.57$$

$$m_{\text{Perfil}} = 16.5\text{Kg} \quad 6.58$$

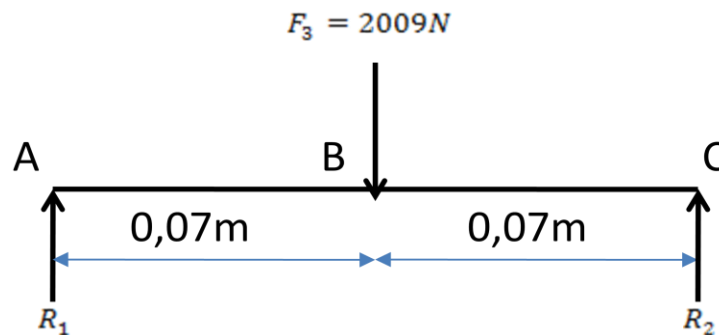
Figura 41. Perfil soporte del brazo electroimán.



Fuente: autores

6.3.4 Cálculo de la barra de desplazamiento del brazo

Figura 42. Diagrama de fuerzas sobre la barra de desplazamiento del brazo



Fuente: autores

Realizando sumatoria de momentos en A=0 se tiene:

$$M_A = 2009\text{N} * 0.07\text{m} - R_2 * 0.14\text{m} = 0 \quad \mathbf{6.59}$$

$$R_2 = \frac{-140.63\text{Nm}}{-0.14\text{m}} \quad \mathbf{6.60}$$

Se halla el valor de la reacción (R_2) en B:

$$R_2 = 1004.5\text{N} \quad \mathbf{6.61}$$

Realizando sumatoria de momentos en B=0 se tiene:

$$M_C = R_1 * 0.14\text{m} - 2009\text{N} * 0.07\text{m} = 0 \quad \mathbf{6.62}$$

$$R_1 = \frac{140.63\text{Nm}}{0.14\text{m}} \quad \mathbf{6.63}$$

Se halla el valor de la reacción (R_1) en A:

$$R_1 = 1004.5\text{N} \quad \mathbf{6.64}$$

A continuación se halla el momento máximo con la ecuación:

$$M_{\max} = \frac{FL}{4} \quad \mathbf{6.65}$$

Donde:

F = Fuerza ejercida sobre la viga

L = longitud de la viga

$$M_{\max} = \frac{2009\text{N} * 0.14\text{m}}{4} \quad \mathbf{6.66}$$

$$M_{\max} = 70.315 \text{ Nm} \quad 6.67$$

Para hallar el diámetro de la barra determinamos inicialmente el módulo de sección (S).

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{Adm}}} \quad 6.68$$

$$S = \frac{70.315 \text{ Nm}}{124 \times 10^6 \text{ N/m}^2} \quad 6.69$$

$$S = 0.567 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad 6.70$$

Para un perfil de sección circular se determina el diámetro así:

$$C = \frac{D}{2} \quad 6.71$$

$$S = \frac{I}{C} \quad 6.72$$

$$S = \frac{\pi D^4 / 64}{D/2} \quad 6.73$$

$$S = \frac{\pi D^3}{32} \quad 6.74$$

Igualando la fórmula de módulo de sección tenemos:

$$S = \frac{\pi D^3}{32} \quad 6.75$$

Despejando D tenemos:

$$D^3 = \frac{0.567 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 32}{\pi} \quad 6.76$$

$$D = \sqrt[3]{5.775 \times 10^{-6} \text{m}^3} \quad \mathbf{6.77}$$

$$D = 0.0179 \text{m} \quad \mathbf{6.78}$$

$$D = 18 \text{mm} \quad \mathbf{6.79}$$

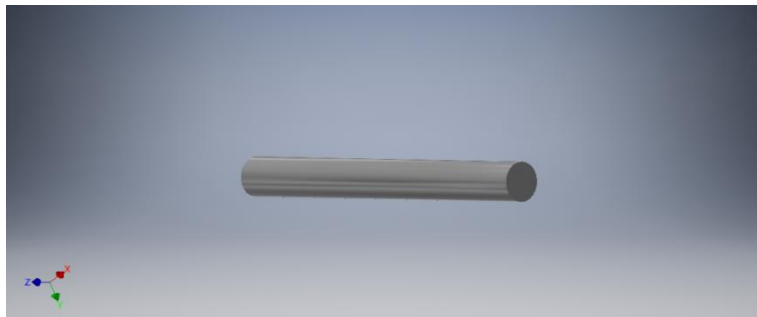
Del anexo E se selecciona una barra circular de 18mm de diámetro con una masa por unidad de área de: 2Kg/m.

Realizando el cálculo de la masa total de la barra se tiene:

$$m_{\text{barra}} = \frac{2 \text{Kg}}{\text{m}} * 0.14 \text{m} \quad \mathbf{6.80}$$

$$m_{\text{barra}} = 0.28 \text{Kg} \quad \mathbf{6.81}$$

Figura 43. Perfil barra desplazamiento del brazo electroimán



Fuente: autores

6.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA MOTORREDUCTOR TROLLEY

Para la selección del motorreductor se tiene en cuenta la suma de la masa total del equipo y la masa de la resultante de la carga que será manipulada y el electroimán:

$$m_{\text{Total}} = m_{\text{barras}} + m_{\text{perfil}} + m_{\text{carga+electroiman}} + m_{\text{barra desplazamiento}} \quad \mathbf{6.82}$$

$$m_{\text{Total}} = 15.07\text{Kg} + 16.5\text{Kg} + 410\text{Kg} + 0.28\text{Kg} \quad \mathbf{6.83}$$

$$m_{\text{Total}} = 441.85\text{Kg} \quad \mathbf{6.84}$$

Debido a que comercialmente se encuentran trolley eléctricos para capacidades de 500 Kg y 1000Kg, para el presente proyecto se calculará basado en un equipo con las siguientes especificaciones, tomado del anexo A:

Modelo: VTE 1-A-18/U*

Capacidad: 1000 Kg

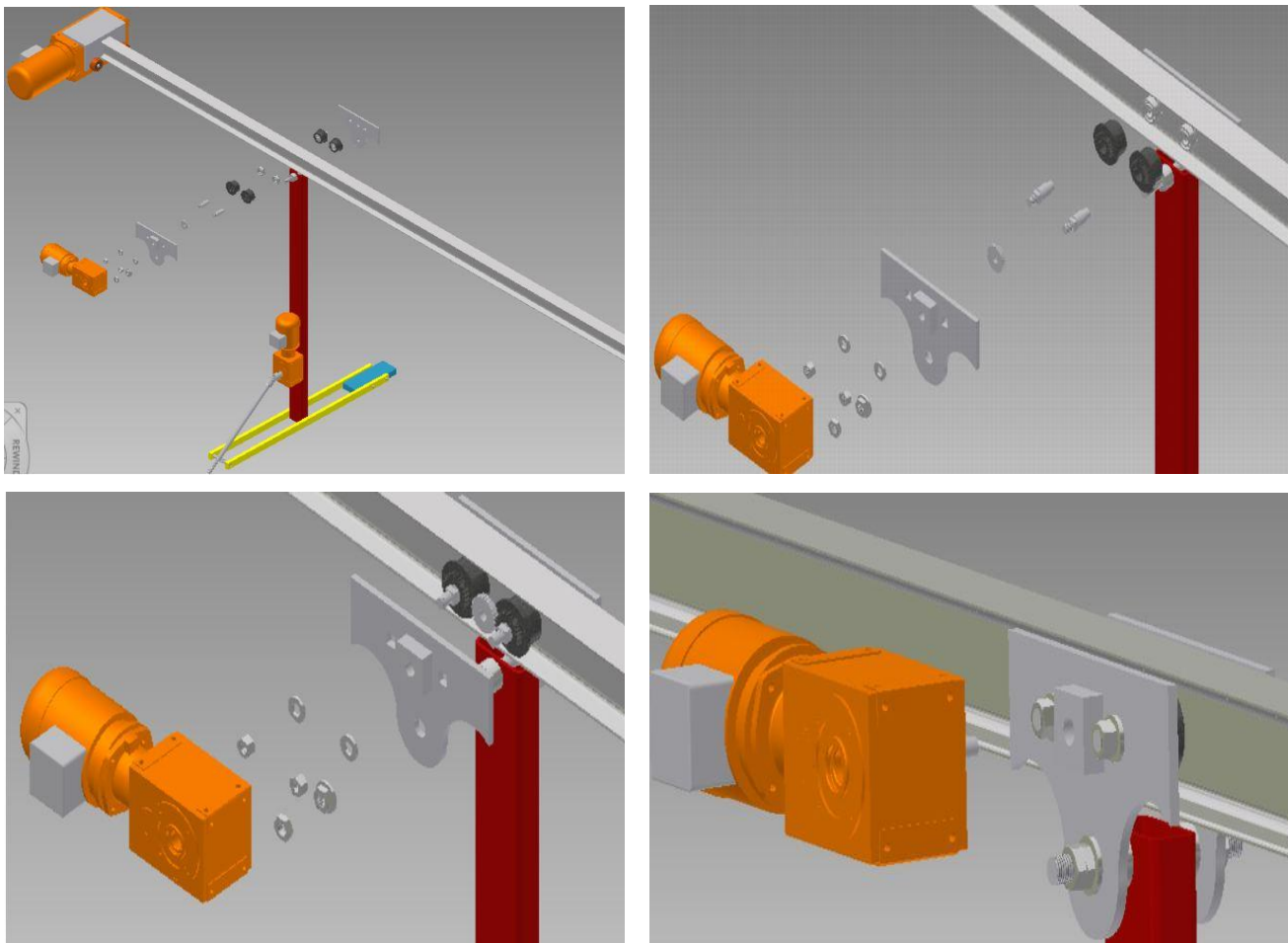
Ancho de viga b: 58–180 mm

Espesor máx. ala de viga: 19mm

Peso del equipo: 19.5 Kg

El trolley va instalado sobre la viga móvil como se muestra en las siguientes figuras. Mediante el motorreductor eléctrico se genera el movimiento para el desplazamiento sobre la viga.

Figura 44. Montaje del trolley en la viga móvil

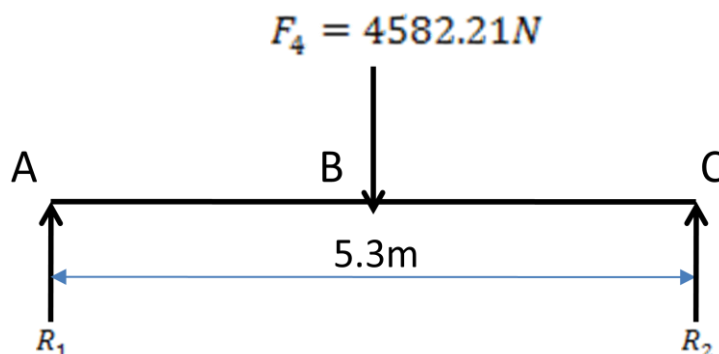


Fuente: autores

6.5 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA PARA DESPLAZAMIENTO DEL EQUIPO

6.5.1 Cálculo de la viga móvil

Figura 45. Diagrama de fuerzas sobre la viga móvil



Fuente: autores

Para la viga móvil se tomó una longitud de 5.3 metros para que el equipo pueda desplazarse hasta una ubicación a un costado de la prensa para cargar y descargar los machos.

Para el valor de la carga ejercida sobre la viga, se tiene en cuenta la fuerza ejercida por la carga a manipular, el peso del perfil soporte del brazo electroimán, el peso de las barras del brazo y el peso del trolley seleccionado.

$$F_4 = 4018\text{N} + 147.71\text{N} + 161.7\text{N} + 254.8\text{N} \quad \mathbf{6.85}$$

$$F_4 = 4582.21\text{N} \quad \mathbf{6.86}$$

Se halla el momento máximo en la viga

$$M_{\max} = \frac{FL}{4} \quad \mathbf{6.87}$$

Donde:

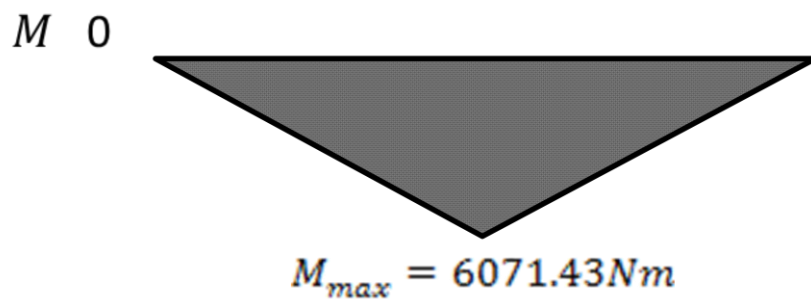
F = Fuerza ejercida sobre la viga

L = longitud de la viga

$$M_{\max} = \frac{4582.21\text{N} \cdot 5.3\text{m}}{4} \quad 6.88$$

$$M_{\max} = 6071.43\text{Nm} \quad 6.89$$

Figura 46. Diagrama de momento flector sobre la viga móvil.



Fuente: autores

Con el momento máximo y el valor de esfuerzo admisible se halla el módulo de sección mínimo para la viga:

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{Adm}}} \quad 6.90$$

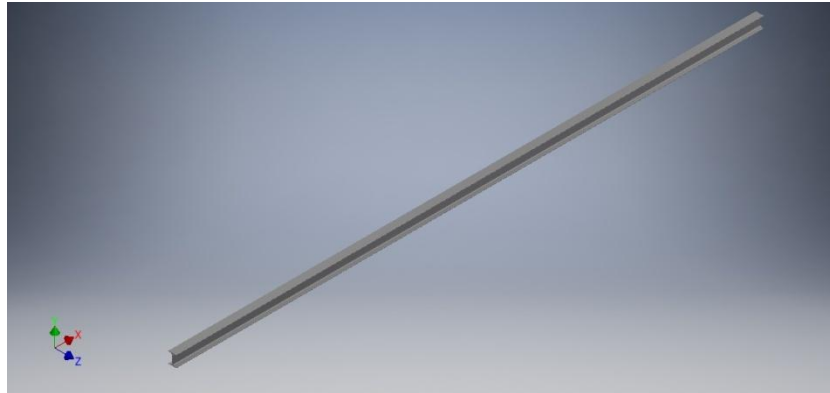
$$S = \frac{6071.43\text{Nm}}{124 \times 10^6 \text{N/m}^2} \quad 6.91$$

$$S = 4.5 \times 10^{-5} \text{m}^3 \quad 6.92$$

Con este valor de S seleccionamos del anexo B, un perfil S 4X9.5 con un módulo de sección de 55.6 cm^3 y un valor de masa por unidad de longitud de 14.1 Kg/m .

$$\text{Masa de la viga} = 5.3\text{m} \cdot 14.1 \text{Kg/m} = 74.73 \text{Kg} \quad 6.93$$

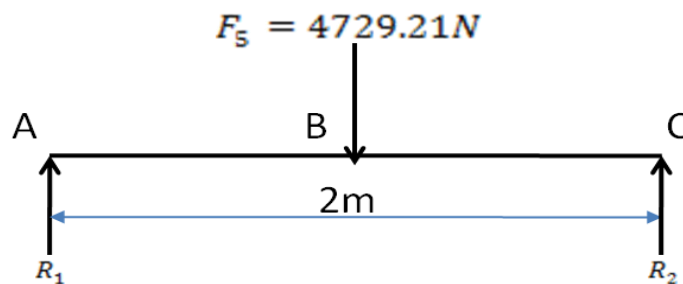
Figura 47. Perfil de la viga móvil.



Fuente: autores

6.5.2 Cálculo de las vigas carrileras (fijas)

Figura 48. Diagrama de fuerzas sobre la viga carrilera (fija)



Fuente: autores

Para la viga móvil se tomó una longitud de 2 metros para que permita el recorrido del equipo hasta la ubicación para cargar y descargar los machos, para que las columnas del equipo queden sobre el mismo plano de las columnas de una plataforma existente sobre la prensa hidráulica y para que no interfiera con el pasillo al lado de la prensa.

Para el valor de la carga ejercida sobre la viga carrilera, se tiene en cuenta la carga soportada por la viga móvil más el peso de esta misma:

$$F_5 = 4582.21\text{N} + 147\text{N} \quad 6.94$$

$$F_5 = 4729.21\text{N} \quad 6.95$$

Se halla el momento máximo en la viga

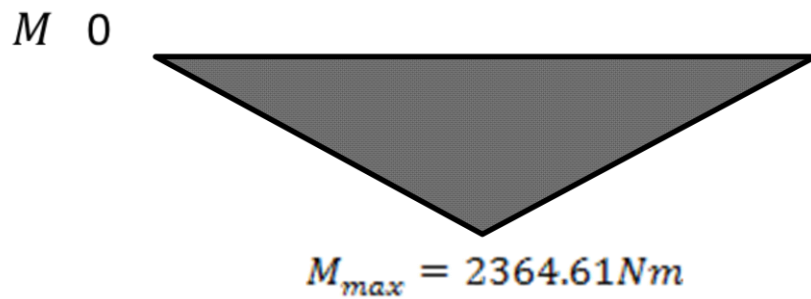
$$M_{\max} = \frac{FL}{4} \quad 6.96$$

Donde: F=fuerza ejercida sobre la viga y L=longitud de la viga

$$M_{\max} = \frac{4729.21\text{N} \cdot 2\text{m}}{4} \quad 6.97$$

$$M_{\max} = 2364.61\text{Nm} \quad 6.98$$

Figura 49. Diagrama de momento flector en la viga carrilera



Fuente: autores

Con el momento máximo y el valor de esfuerzo admisible se halla el módulo de sección mínimo para la viga:

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{Adm}}} \quad 6.99$$

$$S = \frac{2364.61\text{Nm}}{124 \times 10^6 \text{N/m}^2} \quad 6.100$$

$$S = 1.91 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

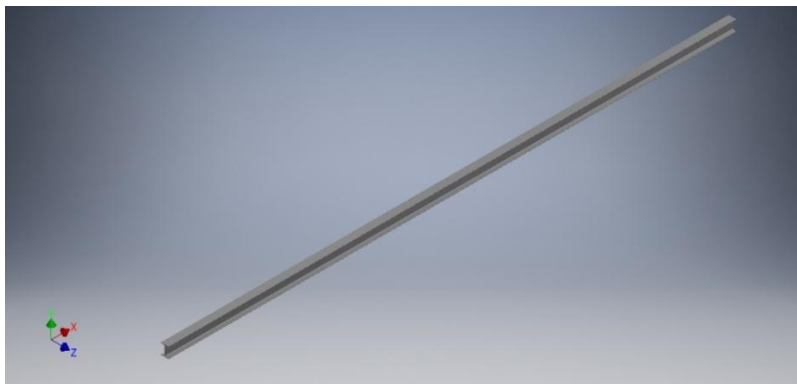
6.101

Con este valor de S seleccionamos del anexo B un perfil S 3X5.7 con un módulo de sección=27.5 cm³ y un valor de masa por unidad de longitud=8.5Kg/m.

$$\text{Masa de la viga} = 2\text{m} \cdot 8.5\text{Kg/m} = 17\text{Kg}$$

6.102

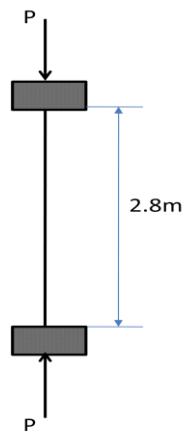
Figura 50. Perfil de la viga carrilera



Fuente: autores

6.5.3 Cálculo de las columnas

Figura 51. Diagrama de fuerzas sobre la columna



Fuente: autores

De la siguiente ecuación utilizada para hallar la carga crítica P_{cr} se tiene:

$$P_{cr} = \frac{\pi EI}{KL} \quad \mathbf{6.103}$$

Donde:

I = momento de inercia

E = modulo de eslasticidad acero = $200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

K = constante = 0.5

L = longitud de la columna = 2.8m

Como ya se tiene el valor de la carga crítica, valor de la fuerza sobre la viga más el peso de la misma:

$$P_{cr} = 4895.81 \text{ N} + \left(\frac{166.6 \text{ N}}{2} \right) \quad \mathbf{6.104}$$

$$P_{cr} = 4979.11 \text{ N} \quad \mathbf{6.105}$$

De la ecuación se despeja I teniendo:

$$I = \frac{P_{cr}(KL)^2}{\pi E} \quad \mathbf{6.106}$$

$$I = \frac{4979.11 \text{ N}(0.5 \times 2.8 \text{ m})^2}{\pi \times 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2} \quad \mathbf{6.107}$$

$$I = 1.55 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \quad \mathbf{6.108}$$

Del anexo B se selecciona un perfil con un momento de inercia $I = 1.05 \times 10^{-6} \text{ m}^4$.

A continuación se determina la relación de esbeltez R_e .

$$R_e = \frac{L}{r} \quad \mathbf{6.109}$$

$$R_e = \frac{2.8m}{0.0396m} \quad 6.110$$

$$R_e = 70.7 < 200 \quad 6.111$$

Donde:

L = longitud de la columna = 2.8m

r = radio de giro = 0.0396m

6.6 CÁLCULO DE CONEXIONES

Aunque los cálculos para las conexiones para el presente proyecto se realizaron del tipo soldado, esto dependerá de otras consideraciones para su fabricación como son el sitio de instalación y la necesidad futura de desmontar y trasladar la estructura, entre otros, para lo cual sería más razonable un tipo de conexión por perno.

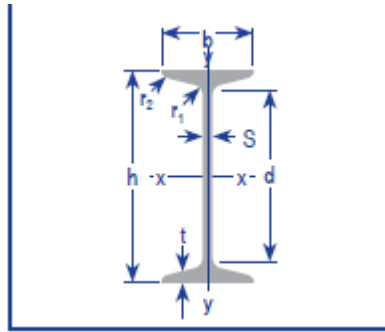
6.6.1 Cálculo de soldadura para la viga carrilera

Para dar rigidez a la conexión entre la viga carrilera y la columna se instalará en medio una placa en acero de dimensiones 100x100x10 mm.

Debido a que ya se seleccionó el perfil para las vigas carrileras y las columnas del equipo, se tiene un perfil como lo muestra la figura 52.

Según la tabla 3.3 de Steckerl Hierros y Aceros, ANEXO B, para el perfil tipo S 3 x 5.7 que fue seleccionado para la viga carrilera se tiene:

Figura 52. Perfil tipo S



Fuente: <http://alfredosteckerl.com/>

De acuerdo a la forma en que se soldará se halla la longitud de la soldadura.
Para hallar la longitud de la soldadura, se tiene en cuenta las dimensiones del perfil a utilizar (S3 x 5.7), se tiene:

$$L = 2(d) + 2(b) + ((2(b)) - 2(s)) \quad \mathbf{6.112}$$

$$L = 2(41) + 2(59.18) + (2(59.18) - 2(4.32)) = 310.08 \text{ mm} \quad \mathbf{6.113}$$

$$310.08 \text{ mm} = 12.207 \text{ plg} \quad \mathbf{6.114}$$

Donde:

L = longitud de la soldadura

La soldadura que se utilizará en este caso es (7018), con resistencia de 70 klb/plg² con electrodos de 5/32 plg de espesor.

Según la fórmula 4.6 tenemos el esfuerzo cortante admisible τ :

$$\tau = (0.30) \left(70 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2} \right) = 21 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2} \quad \mathbf{6.115}$$

Entonces la resistencia P de una soldadura de filete para un electrodo E70 será;

$$P = \tau A \quad 6.116$$

$$P = 21000 \text{ lb/plg}^2 \cdot 0.707 \cdot \frac{5}{32} \cdot 12.207 \quad 6.117$$

$$P = 28318 \text{ lb} \quad 6.118$$

Donde:

P = fuerza cortante admisible, en lb.

A = area sujeta a cortante, ecuacion 4.5.

a = Tamaño de la soldadura, en plg.

L = Longitud de la soldadura, en plg.

Para la longitud de la soldadura de la viga carrilera con la placa, en este caso una placa de 100x100x10 mm se tiene:

$$L = 2(L_{\text{placa}}) + 2(b) \quad 6.119$$

$$L = 2(100\text{mm}) + 2 \cdot 59.18\text{mm} \quad 6.120$$

$$L = 318.36\text{mm} = 12.53 \text{ plg} \quad 6.121$$

Donde:

L_{placa} = longitud de lado de la placa

b = ancho del perfil de la viga carrilera

Como se utiliza el mismo tipo de electrodo de 5/32 plg, entonces P será:

$$P = \tau A \quad 6.122$$

$$P = 21000 \cdot 0.707 \cdot \frac{5}{32} \cdot 12.53 \quad 6.123$$

$$P = 29067 \text{ lb} \quad 6.124$$

6.6.2 Cálculo de soldadura para la base de las columnas

Para la base de las columnas se utilizará una placa de 200x200x10 mm.

$$L = 2(d) + 2(b) + ((2(b)) - 2(s)) \quad 6.125$$

$$L = 2(41) + 2(59.18) + (2(59.18) - 2(4.32)) = 310.08 \text{ mm} \quad 6.126$$

$$L = 310.08 \text{ mm} = 12.207 \text{ plg} \quad 6.127$$

Y una P de:

$$P = \tau A \quad 6.128$$

$$P = 21000 \cdot 0.707 \cdot \frac{5}{32} \cdot 12.207 \quad 6.129$$

$$P = 28318 \text{ lb} \quad 6.130$$

A continuación se calcula el esfuerzo máximo en las fibras más externas de la viga carrilera:

$$\sigma = \frac{MC}{I} \quad 6.131$$

Donde:

I = momento de inercia de la viga

M = momento flexionante máximo en la viga

C = distancia desde el eje centroidal al punto más externo de la viga

$$\sigma = \frac{2843.75 \text{ Nm} \cdot 38 \times 10^{-3} \text{ m}}{1.05 \times 10^{-6} \text{ m}} \quad 6.132$$

$$\sigma = 102.92 \text{Mpa} \quad 6.133$$

De la ecuación 6.134 de esfuerzo se despeja la fuerza máxima a tensión para la viga carrilera:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad 6.134$$

Donde:

F = Fuerza a tension sobre la viga

A = area de la seccion transversal del perfil

$$F = \sigma A$$

$$F = 102.92 \text{Mpa} * 1.08 \times 10^{-3} \text{m}^2 \quad 6.135$$

$$F = 111.15 \text{KN} \quad 6.136$$

Realizando la conversión a sistema inglés:

$$F = 111.15 \text{KN} * \frac{1 \text{Lb}}{4.448 \text{N}} \quad 6.137$$

$$F = 24810 \text{Lb} \quad 6.138$$

Dado que $F < P$ es decir la fuerza máxima aplicada a la viga es menor que la fuerza máxima que resiste la soldadura, el cálculo de la soldadura se considera adecuado.

6.6.3 Cálculo de los tornillos de la base de las columnas

La estructura soporte del equipo quedara anclada al piso para darle mayor rigidez evitando así movimientos inesperados. Para un tornillo M16 y una placa de 200x200x10mm, la cual servirá como base de la columna, se tiene:

$$A_{\text{Neta}} = b - D * t \quad \mathbf{6.139}$$

$$\text{Area}_{\text{Neta}} = 200\text{mm} - (2(16\text{mm} + 3.175\text{mm}) 10\text{mm}) \quad \mathbf{6.140}$$

$$\text{Area}_{\text{Neta}} = 1616.6\text{mm}^2 = 2.51\text{plg}^2 \quad \mathbf{6.141}$$

Donde:

b = ancho de la sección neta

D = diametro de los agujeros a traves de la sección + $\frac{1}{8}$ plg (en milímetros = 3.175)

t = espesor de la placa

Para los pernos de sujeción según el AISC, el esfuerzo admisible es de:

$$\text{Cortante } \tau = 10000 \text{ lb plg}^2 \quad \mathbf{6.142}$$

$$\text{Tension } \sigma = 22000 \text{ lb plg}^2 \quad \mathbf{6.143}$$

$$\text{Aplastamiento } \sigma_b = 87000 \text{ lb plg}^2 \quad \mathbf{6.144}$$

Analizando la carga admisible para cada posible tipo de falla se tiene;

Tensión:

$$P_t = \sigma A_{\text{Neta}} \quad \mathbf{6.145}$$

$$P_t = \frac{22000\text{lb}}{\text{plg}^2} * 2.51\text{plg}^2 \quad \mathbf{6.146}$$

$$P_t = 54654.6\text{lb} \quad \mathbf{6.147}$$

Cortante:

$$P_c = \tau A_s \quad \mathbf{6.148}$$

$$P_c = 10000lb \left(\frac{\pi \cdot 0.63plg^2}{4} * 2 \right) \quad \mathbf{6.149}$$

$$P_c = 6234.49lb \quad \mathbf{6.150}$$

Donde:

$d = \text{diametro del tornillo} = 16mm = 0.63plg$

Se multiplica por 2 por el numero de pernos

7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para el presente proyecto se realizó una comparación entre el costo necesario para la fabricación del equipo con elementos de consecución nacional y el costo de importar un equipo.

Se incluyen algunos componentes para el control del equipo para cambio de machos basándose en equipos existentes de características similares.

Tabla 6. Costo elementos para fabricación nacional de equipo para cambio de machos y moldes.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO
Perfil tipo S 3 x 5.7	15,2 m	\$ 348.000
Perfil tipo S 4 x 9.5	6 m	\$ 175.000
Perfil rectangular 100mmx 50.5mm	2 m	\$ 25.000
Barra rectangular 40mm x 20mm	3m	\$ 67.000
Placa 100 x 100 x 10mm	4 Und	\$ 80.000
Placa 200 x 200 x 10mm	4 Und	\$ 160.000
Breaker tripolar	1 Und	\$ 62.400
Contactor	7 Und	\$ 1.000.000
Guardamotor	4 Und	\$ 480.000
Hongo	1 Und	\$ 80.000
Motoreductor	3 Und	\$ 2.874.000
Fuente 24 V DC	1 Und	\$ 212.000
Sensor inductivo 4 mm	2 Und	\$ 120.000
Breaker Bipolar	1 Und	\$ 65.000
Cofre Metalico	1 Und	\$ 245.000
Tornillos m16 x 200	16und	\$ 192.000
Esparrago m20 x 1m	1 Und	\$ 30.000
Cableado	1 Und	\$ 450.000
Soldadura 7018s	4 Kg	\$ 68.000
Anticorrosivo	1 Gl	\$ 55.000
Pintura	1 Gl	\$ 60.000
Botonera	1 Und	\$ 600.000
Trolley	1 Und	\$ 3.600.000
Plc	1 Und	\$ 680.000
Mano de obra	1	\$ 3.000.000
Consumibles (Chazos, discos de corte, etc)	1	\$ 600.000
COSTO TOTAL APROXIMADO		\$ 15.328.400

Fuente: Autores

Se tomará como comparación el equipo MPM SIMAC ya que es el equipo con el sistema más especializado y completo para el montaje y desmontaje de machos.

El costo total del equipo es aproximadamente **€ 28.000,00**.

Con un valor de cambio de moneda de \$3500 por unidad de Euro se tiene un costo en pesos para el equipo MPM SIMAC de: **\$100,3 millones**.

EQUIPO PARA CAMBIO DE MACHOS \$15,3 millones	Vs	MPM SIMAC \$98 millones
---	-----------	--

8 CONCLUSIONES

Gracias a la investigación realizada, se evidencia que no hay un equipo en el mercado nacional, que satisfaga la necesidad que posee la industria cerámica; en cuanto a la forma de manipular los machos de los moldes en prensas hidráulicas, para la fabricación de pisos y paredes.

El equipo diseñado que posiblemente se construirá deberá tener en cuenta los elementos seleccionados, con los materiales propuestos y los planos realizados.

Este equipo facilitará la manipulación de los machos de los moldes a los operarios, haciendo un proceso ágil y seguro.

Los valores hallados aplicando resistencia de materiales indicaban dimensiones en los elementos que no se encuentran comercialmente como es el ejemplo de vigas estructurales, columnas y Trolley. Por tal motivo fue necesario hacer aproximaciones a elementos nominales dados por los fabricantes.

Algunos de los equipos que se encuentran comercialmente son manipulados de forma manual mientras que el equipo diseñado utiliza un sistema semiautomático, el cual permite al operador realizar la actividad de forma segura.

El equipo diseñado para cambio de machos y moldes tiene un costo considerablemente menor comparado con la importación de un equipo existente comercialmente.

9 RECOMENDACIONES

Algunos elementos para el diseño del equipo están enfocados hacia un sistema eléctrico, (*trolley*, motorreductor), pero cabe anotar que dichos elementos pueden ser reemplazados por otros tipos de energía, (neumática, hidráulica).

Debido a que la investigación realizada para el presente proyecto, es netamente mecánico y que el equipo propuesto necesita de alguna fuente de energía se sugiere generar el control y potencia adecuado para que el equipo siga siendo útil y seguro.

Los materiales seleccionados para la construcción del diseño deben ser materiales bajo los estándares de calidad internacional para evitar posibles fallas o fracturas del equipo.

Para corroborar los datos obtenidos mediante los cálculos efectuados, se puede realizar una simulación mediante software especializado en donde se obtengan valores máximos y mínimos en cuanto a esfuerzos y deformaciones del material cuando son aplicadas las cargas de funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- 2012, M. s. (28 de Noviembre de 2014). *Mi sitio 2012*. Obtenido de Mi sitio 2012: <https://sites.google.com/site/enmisitio2012/home/prueba-2>
- Alonso, N. (23 de Abril de 2013). *blogspot.com.co*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2014, de [blogspot.com.co: http://corrientesinducidas-magnetismo.blogspot.com.co/2013/04/electromagnetismo.html](http://corrientesinducidas-magnetismo.blogspot.com.co/2013/04/electromagnetismo.html)
- Antonio, G. Á. (12 de 01 de 2015). *Asi funciona.com*. Obtenido de Asi funciona.com: http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_electromag/ke_electromag_1.htm
- Areatecnologia. (16 de Noviembre de 2014). *Areatecnologia.com*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2014, de Areatecnologia.com: <http://www.areatecnologia.com/estructuras/estructuras-metalicas.html>
- Areatecnologia. (15 de Diciembre de 2014). *Areatecnologia*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de Areatecnologia: <http://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>
- Areatecnologia. (15 de 12 de 2015). *Areatecnologia*. Obtenido de Areatecnologia: <http://www.areatecnologia.com>
- Areatecnologica. (2015). *Area tecnologica*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de <http://www.areatecnologia.com/estructuras/estructuras-metalicas.html>
- Barros, L. (25 de Noviembre de 2014). *mprende.co gestion deempresas-colombianas*. Obtenido de [mprende.co gestion deempresas-colombianas: http://contenidos@revistamprende.com](http://contenidos@revistamprende.com)
- Blogspot. (10 de Diciembre de 2014). *Seguridadindustrialapuntos*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2014, de Seguridadindustrialapuntos: <http://seguridadindustrialapuntosblogspot.com.co>
- creativecommons.org. (2015). *lafisicaparatodos*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de <http://lafisicaparatodos.wikispaces.com/PRINCIPIO+DE+PASCAL>
- Cristina, R. M. (2012). Piñones. *Metal Actual* , 44.
- DUE, G. (28 de Noviembre de 2014). *Gape due* . Obtenido de Gape due : <http://www.gapedue.it/en/products/carrelli/>
- es.scribd.com. (27 de 01 de 2010). *es.scribd.com*. Obtenido de es.scribd.com: <http://es.scribd.com/doc/25882475/TRANSMISION-MECANICA>
- Ferrecortes. (30 de Enero de 2015). *Acero A36*. Recuperado el 30 de Enero de 2015, de Acero A36: <http://www.ferrocortes.com.co/laminas/lamina-calidad-estructural-astm-a36>

Fitzgerald, R. W. (1996). MECANICA DE MATERIALES. En R. W. Fitzgerald, *MECANICA DE MATERIALES* (págs. 405-408). Mexico: Alfaomega.

Fitzgerald, R. w. (1996). Mecánica de Materiales. En R. w. Fitzgerald, *Mecánica de Materiales* (págs. 510-514). México: Alfaomega.

GrabCAD. (2015). *grabcad*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de <http://grabcad.com/requests/puente-grua>

grupoone.com.ar. (2010). *ascensoresaya*. Recuperado el 25 de 02 de 2015, de <http://www.ascensoresaya.com.ar/?web=productos&rubro=ASCENSORES&titulo=ASCENSORES>

Industriales, R. (25 de Noviembre de 2014). *Máquinas Industriales*. Obtenido de Máquinas Industriales : <http://www.revolucionesindustriales.com/maquinasindustriales/>

Jenifer, J. (14 de 11 de 2012). *blogspot.com*. Obtenido de blogspot.com: <http://yeni-ji.blogspot.com/2012/11/sistema-mecanico-engranaje.html> L

Lujan, T. (05 de Octubre de 2011). *es.over-blog.com*. Obtenido de es.over-blog.com: <https://es.over-blog.com>

Lujan, T. (05 de Octubre de 2011). *es.over-blog.com*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014, de [es.over-blog.com](http://es.over-blog.com/Como_funcionan_los_reductores_de_velocidad_usos_y_tipos_de_reductores-1228321783-art164436.htm): http://es.over-blog.com/Como_funcionan_los_reductores_de_velocidad_usos_y_tipos_de_reductores-1228321783-art164436.htm

Mccormac, J. (1991). Diseño de Estructuras de Acero. En Mccormac, *Diseño de Estructuras de Acero* (págs. 6-8). Mexico: Alfaomega.

Mecalux. (2000-2015). *Logismarket*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de <http://www.logismarket.com.mx/momatt/montacargas-electrico-contrabalanceado-de-tres-ruedas-operario-parado/1244249952-1179565805-p.html>

Mérida Alegria, V. H. (2014). *Puente grua*. Guatemala.

Newgasil. (2015). *Ingeniería Newgasil*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de <http://newgasil.com/es/curso-seguridad-plataformas-elevadoras/>

Ocupacional, S. (18 de Diciembre de 2014). *saludocupacional.univalle*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2014, de [saludocupacional.univalle](http://saludocupacional.univalle.edu.co/marcolegal.htm): <http://saludocupacional.univalle.edu.co/marcolegal.htm>

Primecall. (s.f.). *Picapala*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de <http://www.picapala.com/ferreteria/montacargas-y-bobcat/>

Remarkable. (2015). *Elephante Lifts 2015*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de <http://www.elephante-lifts.com/news/>

Rodrigo, M. B., & Emiro, J. I. (22 de Mayo de 1979). *ley 2400 de 1979*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2014, de ley 2400 de 1979:

<http://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1509/industrial%20safety%20statute.pdf>

S.L., M. (28 de Noviembre de 2014). *www.macer.es*. Obtenido de *www.macer.es*:

http://www.macer.es/71084_es/CAMBIAPUNZONES/

S.R.C. (10 de 11 de 2013). *Rodamientos src*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2014, de

Rodamientos src: <http://www.srcmx.com/rodamientos.php>

src, R. (10 de 11 de 2013). *Rodamientos src*. Obtenido de Rodamientos src:

<http://www.srcmx.com/rodamientos.php>

srcmx, I. 1. (2015). *SRCMX*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de

<http://www.srcmx.com/rodamientos.php>

TECH, S. (28 de Moviembre de 2014). *simacsrl*. Obtenido de simacsrl:

<http://www.simacsrl.it/sites/default/files/>

umsa. (16 de Noviembre de 2014). *mecanica.umsa.edu.bo*. Recuperado el 16 de Noviembre de

2014, de *mecanica.umsa.edu.bo*: <http://mecanica.umsa.edu.bo/Libros/Lib1May.pdf>

Wikispaces. (12 de 01 de 2015). *Wikispaces.com*. Obtenido de Wikispaces.com:

lafisicapaatodos.wikispaces.com

Wikispaces. (12 de Enero de 2015). *Wikispaces.com*. Recuperado el 12 de Enero de 2015, de

Wikispaces.com: <http://lafisicaparatodos.wikispaces.com>

ANEXOS

Anexo A. Equipos de elevación. Trolley eléctrico, características.

Equipos de elevación Carros



Carro eléctrico modelo VTE-U

Capacidades 1.000 - 5.000 kg

Está especialmente recomendado para cargas superiores a 1.000 kg para transportarlas a través de largas distancias y/o para usos frecuentes. Adecuado para casi todos los polipastos con gancho de suspensión debido a su grillete de conexión universal.

El motor de translación con transmisión de engranaje helicoidal permite arrancar con suavidad y frenar automáticamente - no se necesita freno de motor independiente.

Características

- Voltaje estándar de funcionamiento:
Tensión europea 400 V, trifásico, 50 Hz. Los motores de una velocidad son convertibles a 230 V.
- Motor con protección IP 55 contra la entrada de polvo y de agua pulverizada. Botonera encapsulada con protección IP 65.
- Estructura principal compacta y robusta con altura perdida reducida.
- Ruedas de acero resistentes a la rotura. Baja resistencia a la rodadura gracias a sus superficies mecanizadas y a su montaje sobre rodamientos de bolas. Perfil convexo para perfiles de viga paralelos e inclinados.
- Se incluyen como estándar protección anti-caída y protección contra inclinación.
- Gracias a sus husillos se consigue un fácil ajuste a un gran rango de anchuras y perfiles de vigas.

Opcional

- Mando de baja tensión (42 V).
- Topes de goma.
- 230 V, monofásico, 50 Hz



Ruedas con perfiles convexos



Husillo



Protección anti-caída

Anexo A. Equipos de elevación. Trolley eléctrico, especificaciones. (continuación)

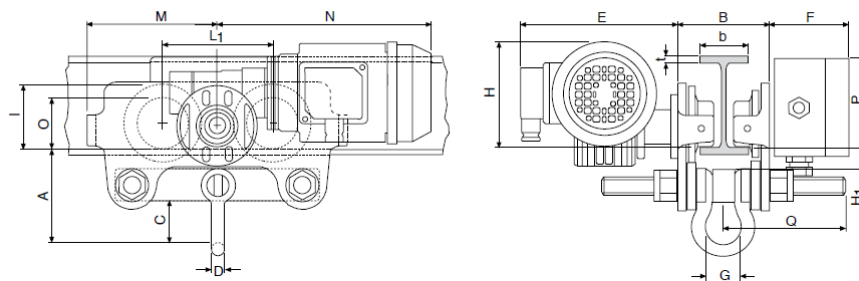
Datos técnicos modelo VTE-U

Modelo	Núm. EAN 4025092*	Capacidad kg	Velocidad traslación m/min	Motor kW	Ancho ala de viga b mm	Espesor máx. ala de viga mm	Radio mín. curvatura m	Peso kg
VTE 1-A-18/U*	*073547	1.000	18 o 18/4,5	0,18 o 0,18/0,06	58 - 180	19	0,9	19,5
VTE 1-B-18/U*	*073585	1.000	18 o 18/4,5	0,18 o 0,18/0,06	180 - 300	19	0,9	25,2
VTE 2-A-18/U*	*073561	2.000	18 o 18/4,5	0,18 o 0,18/0,06	58 - 180	19	1,15	26,0
VTE 2-B-18/U*	*073608	2.000	18 o 18/4,5	0,18 o 0,18/0,06	180 - 300	19	1,15	30,2
VTE 3-A-11/U	*073424	3.000	11 o 11/2,8	0,37 o 0,3/0,09	74 - 180	27	1,5	51,0
VTE 3-B-11/U	*073509	3.000	11 o 11/2,8	0,37 o 0,3/0,09	180 - 300	27	1,4	53,0
VTE 5-A-11/U	*073448	5.000	11 o 11/2,8	0,37 o 0,3/0,09	98 - 180	27	2,0	77,0
VTE 5-B-11/U	*073523	5.000	11 o 11/2,8	0,37 o 0,3/0,09	180 - 300	27	1,8	80,0

*11 o 11/2,8 m/min. Velocidad de traslación bajo pedido

Medidas modelo VTE-U

Modelo	VTE 1-A-18/U	VTE 1-B-18/U	VTE 2-A-18/U	VTE 2-B-18/U	VTE 3-A-11/U	VTE 3-B-11/U	VTE 5-A-11/U	VTE 5-B-11/U
A, mm	113	113	115	115	139	139	161	161
B, mm	b + 50	b + 50	b + 54	b + 54	b + 60	b + 60	b + 70	b + 70
C, mm	49	49	47	47	57	57	60	60
D, mm	16	16	16	16	19	19	22	22
E, mm	187	187	187	187	202	202	202	202
F, mm	94	94	94	94	94	94	94	94
G, mm	43	43	43	43	51	51	58	58
H, mm	129	129	128	128	144	144	178	178
H1, mm	24	24	24	24	32	32	32	32
I, mm	77	77	98	98	133	133	149	149
L1, mm	130	130	150	150	180	180	209	209
M, mm	155	155	180	180	208	208	263	263
N una velocidad, mm	255	255	255	255	292	292	292	292
N dos velocidades, mm	263	263	263	263	296	296	296	296
O, mm	60	60	80	80	112	112	125	125
P, mm	123	123	123	123	129	129	121	121
Q, mm	145	205	153	213	160	220	182	242



Los polipastos y carros Yale no han sido diseñados para aplicaciones de elevación de personas y no deben ser usados con ese propósito.

Anexo B. Tabla de perfiles I tipo S, especificaciones.

Perfil I estándar americano - S



STECKERL HIERROS Y ACEROS 
Su Centro del Hierro y el Acero

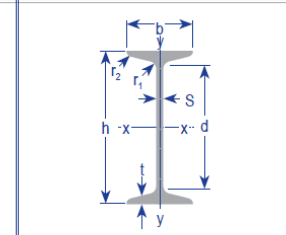
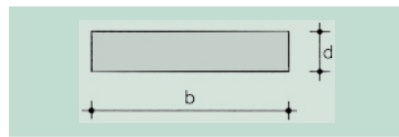


Tabla 3.3. Perfil I estándar americano - S.

PERFIL I ESTANDAR AMERICANO - S																	
PERFILES S		Dimensiones y propiedades para el diseño															
		DIMENSIONES					AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS
		ALTURA		ALA					d	EJE X-X			EJE Y-Y				
DESIGNACION	h	s	b	t	mm	cm2	kg/mt	Ix		Sx	rx	Iy	Sy	ry	Zx	Zy	Jt
	mm	mm	mm	mm	mm			cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm3	cm3	cm3	cm4
S 3 x 5.7	76.00	4.32	59.18	6.60	41.00	10.80	8.50	105.00	27.50	3.12	18.94	6.40	1.33	32.00	10.70	1.66	
S 3 x 7.5	76.00	8.86	63.73	6.60	41.00	14.30	11.20	122.00	32.00	2.92	24.40	7.70	1.31	38.73	13.54	3.75	
S 4 x 5.6	100.00	4.50	50.00	6.80	64.00	10.60	8.32	171.00	34.20	4.01	12.20	4.88	1.07	39.67	8.83	1.27	
S 4 x 7.7	102.00	4.90	67.64	7.44	64.00	14.60	11.50	253.00	49.80	4.17	31.80	9.40	1.48	57.32	15.80	2.91	
S 4 x 9.5	102.00	8.28	71.02	7.44	64.00	18.00	14.10	283.00	55.60	3.96	37.60	10.60	1.45	66.20	18.52	5.00	
S 5 x 7.5	120.00	5.10	58.00	7.70	86.00	14.20	11.20	329.00	54.70	4.81	25.16	7.41	1.33	63.73	13.54	2.16	
S 5 x 10.0	127.00	5.44	76.30	8.28	86.00	19.00	14.90	512.00	80.60	5.21	50.78	13.30	1.63	92.91	22.45	4.58	
S 5 x 14.75	127.00	12.55	83.41	8.28	86.00	28.00	22.00	633.00	99.80	4.75	69.51	16.60	1.57	121.60	30.81	1.33	
S 6 x 12.0	160.00	6.30	74.00	9.50	108.00	22.80	17.90	938.00	117.00	6.41	64.45	14.80	1.68	136.00	27.15	5.24	
S 6 x 12.5	152.00	5.89	84.63	9.12	108.00	23.70	18.60	920.00	120.80	6.22	75.75	17.90	1.79	138.80	30.32	7.08	
S 6 x 17.25	152.00	11.81	90.55	9.12	108.00	32.70	25.70	1.095.00	143.70	5.79	96.15	21.30	1.71	173.70	38.67	15.40	
S 7 x 15.3	178.00	6.40	93.01	9.96	130.00	29.00	22.80	1.528.00	172.10	7.26	110.00	23.60	1.95	198.30	40.00	9.90	
S 7 x 20.0	178.00	11.43	98.04	9.96	130.00	37.90	29.80	1.765.00	198.30	6.83	132.00	26.90	1.86	237.61	48.51	18.73	
S 8 x 17.4	200.00	7.50	90.00	11.30	152.00	33.50	26.30	2.148.00	214.00	8.01	137.90	26.00	2.03	249.60	47.94	10.70	
S 8 x 18.4	203.00	6.88	101.63	10.82	152.00	34.90	27.40	2.397.00	236.00	8.28	155.00	30.50	2.11	270.40	51.78	14.15	
S 8 x 23.0	203.00	11.20	105.94	10.82	152.00	43.70	34.20	2.701.00	265.50	7.87	179.00	33.90	2.03	316.27	60.30	22.89	
S 9 x 21.8	229.00	7.40	110.00	11.60	178.00	40.70	32.44	3.535.00	309.30	9.32	214.80	39.10	2.29	355.30	72.90	13.84	
S 10 x 25.4	254.00	7.90	118.39	12.47	197.00	48.10	37.80	5.161.00	404.80	10.34	283.00	47.70	2.42	465.40	78.60	24.97	
S 10 x 35.0	254.00	15.09	125.58	12.47	197.00	66.50	52.10	6.119.00	481.80	9.60	348.00	55.40	2.29	580.10	101.96	53.70	
S 12 x 31.8	305.00	8.89	127.00	13.82	244.00	60.30	47.30	9.074.00	596.50	12.27	390.00	61.30	2.54	688.26	104.88	37.46	
S 12 x 35.0	305.00	10.87	128.98	13.82	244.00	66.50	52.10	9.532.00	626.00	12.00	411.00	63.70	2.49	734.14	111.27	44.95	
S 12 x 40.8	305.00	11.73	133.40	16.74	232.00	77.40	60.70	11.321.00	744.00	12.11	566.00	84.80	2.69	870.00	145.00	73.26	
S 12 x 50.0	305.00	17.45	139.11	16.74	232.00	94.80	74.40	12.695.00	832.50	11.56	653.00	94.10	2.62	1.003.00	168.80	117.38	
S 15 x 42.9	381.00	10.44	139.73	15.80	311.00	81.30	63.80	18.606.00	976.70	15.11	599.00	85.70	2.72	1.136.00	147.81	64.10	
S 15 x 50.0	381.00	13.97	143.26	15.80	311.00	94.80	74.40	20.229.00	1.062.00	14.61	653.00	91.30	2.62	1.263.00	163.38	88.24	
S 18 x 54.7	457.00	11.71	152.43	17.55	381.00	104.00	81.40	33.465.00	1.465.00	17.96	886.00	113.70	2.90	1.721.00	198.28	98.65	
S 18 x 70.0	457.00	18.06	158.78	17.55	381.00	133.00	104.20	38.543.00	1.688.00	17.04	1.003.00	127.00	2.74	2.048.00	236.00	172.24	
S 20 x 66.0	508.00	12.83	158.88	20.19	425.00	125.00	98.20	49.532.00	1.950.00	19.89	1.153.00	145.00	3.02	2.294.00	251.00	149.00	
S 20 x 75.0	508.00	16.13	162.18	20.19	425.00	142.00	112.00	53.278.00	2.098.00	19.35	1.240.00	152.70	2.95	2.507.00	274.00	191.00	
S 20 x 86.0	514.00	16.76	179.32	23.37	425.00	163.00	128.00	65.765.00	2.540.00	20.00	1.948.00	218.00	3.45	3.000.00	377.00	276.40	
S 20 x 96.0	514.00	20.32	182.88	23.37	425.00	182.00	143.00	69.511.00	2.704.00	19.58	2.089.00	228.00	3.38	3.245.00	408.00	349.20	
S 24 x 80.0	607.00	12.70	177.80	22.10	521.00	152.00	119.00	87.409.00	2.868.00	24.05	1.756.00	198.00	3.40	3.343.00	339.00	203.00	
S 24 x 90.0	607.00	15.88	180.98	22.10	521.00	171.00	134.00	93.652.00	3.064.00	23.39	1.869.00	206.00	3.30	3.638.00	365.00	251.40	
S 24 x 100.0	607.00	18.92	184.02	22.10	521.00	189.00	149.00	99.479.00	3.261.00	22.91	1.985.00	216.00	3.23	3.933.00	392.00	316.00	
S 24 x 106.0	622.00	15.75	200.00	27.69	521.00	201.00	158.00	122.372.00	3.933.00	24.66	3.209.00	321.00	4.00	4.572.00	544.00	420.40	
S 24 x 121.0	622.00	20.32	204.47	27.69	521.00	230.00	180.00	131.529.00	4.228.00	23.95	3.467.00	339.00	3.89	5.014.00	593.00	532.80	

Anexo C. Tabla barras rectangulares, especificaciones.

Tabla 2.A1.10. Rectangulares



A = Área de la sección
p = Peso por m

b · d mm mm	A cm ²	p kp/m		b · d mm mm	A cm ²	p kp/m		b · d mm mm	A cm ²	p kp/m		b · d mm mm	A cm ²	p kp/m		b · d mm mm	A cm ²	p kp/m	
20,4	0,80	0,628	C	45,12	5,40	4,24	C	70,20	14,00	11,00	P	100,30	30,00	23,60	C	160,25	40,0	31,4	C
20,5	1,00	0,785	C	45,15	6,75	5,30	C	70,25	17,50	13,70	P	100,35	35,00	27,50	C	160,30	48,0	37,7	C
20,6	1,20	0,942	C	45,20	9,00	7,07	C	70,30	21,00	16,50	C	100,40	40,00	31,40	C	160,35	56,0	44,0	C
20,8	1,60	1,260	C	45,25	11,20	8,83	C	70,35	24,50	19,20	C	110,4	4,40	3,45	C	160,40	64,0	50,2	C
20,10	2,00	1,570	C	45,30	13,50	10,60	C	70,40	28,00	22,00	C	110,5	5,50	4,32	C	180,8	14,4	11,3	C
20,12	2,40	1,880	C	45,35	15,80	12,40	C	75,4	3,00	2,36	C	110,6	6,80	5,18	C	180,10	18,0	14,1	C
20,15	3,00	2,360	C	45,40	18,00	14,10	C	75,5	3,75	2,94	C	110,8	8,80	6,91	C	180,12	21,6	17,0	C
25,4	1,00	0,785	C	50,4	2,00	1,57	P	75,6	4,50	3,53	C	110,10	11,00	8,64	C	180,15	27,0	21,2	C
25,5	1,25	0,981	C	50,5	2,50	1,96	P	75,8	6,00	4,71	C	110,12	13,20	10,40	C	180,20	36,0	28,3	C
25,6	1,50	1,180	C	50,6	3,00	2,36	P	75,10	7,50	5,89	C	110,15	16,50	13,00	C	180,25	45,0	35,3	C
25,8	2,00	1,570	C	50,8	4,00	3,14	P	75,12	9,00	7,07	C	110,20	22,00	17,30	C	180,30	54,0	42,4	C
25,10	2,50	1,960	C	50,10	5,00	3,93	P	75,15	11,20	8,83	C	110,25	27,50	21,60	C	180,35	63,0	49,5	C
25,12	3,00	2,360	C	50,12	6,00	4,71	C	75,20	15,00	11,80	C	110,30	33,00	25,90	C	180,40	72,0	56,5	C
25,15	3,75	2,940	C	50,15	7,50	5,89	C	75,25	18,80	14,70	C	110,35	38,50	30,20	C	200,8	16,0	12,6	C
25,20	5,00	3,930	C	50,20	10,00	7,85	C	75,30	22,50	17,70	C	110,40	44,00	34,50	C	200,10	20,0	15,7	C
30,4	1,20	0,942	P	50,25	12,50	9,81	C	75,35	26,20	20,60	C	120,4	4,80	3,77	C	200,12	24,0	18,8	C
30,5	1,50	1,180	P	50,30	15,00	11,80	C	75,40	30,00	23,60	C	120,5	6,00	4,71	C	200,15	30,0	23,6	C
30,6	1,80	1,410	P	50,35	17,50	13,70	C	80,4	3,20	2,51	C	120,6	7,20	5,65	C	200,20	40,0	31,4	C
30,8	2,40	1,880	C	50,40	20,00	15,70	C	80,5	4,00	3,14	C	120,8	9,60	7,54	C	200,25	50,0	39,2	C
30,10	3,00	2,360	C	55,4	2,20	1,73	C	80,6	4,80	3,77	P	120,10	12,00	9,42	P	200,30	60,0	47,1	C
30,12	3,60	2,830	C	55,5	2,75	2,16	C	80,8	6,40	5,02	P	120,12	14,40	11,30	P	200,35	70,0	55,0	C
30,15	4,50	3,530	C	55,6	3,30	2,59	C	80,10	8,00	6,28	P	120,15	18,80	14,10	P	200,40	80,0	62,8	C
30,20	6,00	4,710	C	55,8	4,40	3,45	C	80,12	9,60	7,54	P	120,20	24,00	18,80	P	250,8	20,0	15,7	C
30,25	7,50	5,890	C	55,10	5,50	4,32	C	80,15	12,00	9,42	P	120,25	30,00	23,60	P	250,10	25,0	19,6	C
35,4	1,40	1,100	C	55,12	6,60	5,18	C	80,20	16,00	12,60	P	120,30	36,00	28,50	C	250,12	30,0	23,6	C
35,5	1,75	1,370	C	55,15	8,25	6,48	C	80,25	20,00	15,70	P	120,35	42,00	33,00	C	250,15	37,5	29,4	C
35,6	2,10	1,650	C	55,20	11,00	8,64	C	80,30	24,00	18,80	C	120,40	48,00	37,70	C	250,20	50,0	39,2	C
35,8	2,80	2,200	C	55,25	13,80	10,80	C	80,35	28,00	22,00	C	140,8	11,2	8,79	C	250,25	62,5	49,1	C
35,10	3,50	2,750	C	55,30	16,50	13,00	C	80,40	32,00	25,10	C	140,10	14,0	11,00	C	250,30	75,0	58,9	C
35,12	4,20	3,300	C	55,35	19,30	15,10	C	90,4	3,60	2,85	C	140,12	16,8	13,20	P	250,35	87,5	68,7	C
35,15	5,25	4,120	C	55,40	22,00	17,30	C	90,5	4,50	3,53	C	140,15	21,0	16,50	P	250,40	100,0	78,5	C
35,20	7,00	5,500	C	60,4	2,40	1,88	C	90,6	5,40	4,24	C	140,20	28,0	22,00	P	300,8	24,0	18,8	C
35,25	8,75	6,870	C	60,5	3,00	2,36	P	90,8	7,20	5,85	C	140,25	35,0	27,50	P	300,10	30,0	23,6	C
35,30	10,50	8,240	C	60,6	3,60	2,83	P	90,10	9,00	7,07	C	140,30	42,0	33,00	C	300,12	36,0	28,3	C
40,4	1,60	1,26	P	60,8	4,80	3,77	P	90,12	10,80	8,48	C	140,35	49,0	38,50	C	300,15	45,0	35,3	C
40,5	2,00	1,57	P	60,10	6,00	4,71	P	90,15	13,50	10,60	C	140,40	56,0	44,00	C	300,20	60,0	47,1	C
40,6	2,40	1,88	P	60,12	7,20	5,65	P	90,20	18,00	12,10	C	150,8	12,0	9,42	C	300,25	75,0	58,9	C
40,8	3,20	2,51	P	60,15	9,00	7,07	P	90,25	22,50	17,70	C	150,10	15,0	11,80	C	300,30	90,0	70,6	C
40,10	4,00	3,14	C	60,20	12,00	9,42	P	90,30	27,00	21,20	C	150,12	18,0	14,10	C	300,35	105,0	82,4	C
40,12	4,80	3,77	C	60,25	15,00	11,80	P	90,35	31,50	24,70	C	150,15	22,5	17,70	C	300,40	120,0	94,2	C
40,15	6,00	4,71	C	60,30	18,00	14,10	C	90,40	36,00	28,30	C	150,20	30,0	23,60	C	400,8	32,0	25,1	C
40,20	8,00	6,28	C	60,35	21,00	16,50	C	100,4	4,00	3,14	C	150,25	37,5	29,40	C	400,10	40,0	31,4	C
40,25	10,00	7,85	C	60,40	24,00	18,80	C	100,5	5,00	3,93	C	150,30	45,0	35,30	C	400,12	48,0	37,7	C
40,30	12,00	9,42	C	70,4	2,80	2,20	C	100,6	6,00	4,71	C	150,35	52,5	41,20	C	400,15	60,0	47,1	C
40,35	14,00	11,00	C	70,5	3,50	2,75	P	100,8	8,00	6,23	P	150,40	60,0	47,10	C	400,20	80,0	62,8	C
45,4	1,80	1,41	C	70,6	4,20	3,30	P	100,10	10,00	7,85	P	160,8	12,8	10,0	C	400,25	100,0	78,5	C
45,5	2,25	1,77	C	70,8	5,60	4,40	P	100,12	12,00	9,42	P	160,10	16,0	12,6	C	400,30	120,0	94,2	C
45,6	2,70	2,12	C	70,10	7,00	5,50	P	100,15	15,00	11,80	P	160,12	19,2	15,1	C	400,35	140,0	110,0	C
45,8	3,60	2,83	C	70,12	8,40	6,59	P	100,20	20,00	15,70	P	160,15	24,0	18,8	C	400,40	160,0	126,0	C
45,10	4,50	3,53	C	70,15	10,50	8,24	P	100,25	25,00	19,60	P	160,20	32,0	25,1	C				

Anexo D. Tabla de perfiles rectangulares huecos, especificaciones.

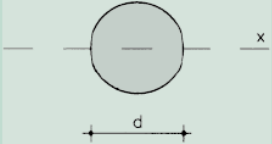
Tabla 2.A2.3. Perfiles huecos rectangulares

	r = Radio exterior de redondeo	S_y = Momento estático de media sección, respecto al eje Y
	u = Perímetro	I_y = Momento de inercia de la sección, respecto al eje Y
	A = Área de la sección	$W_y = 2I_y : b$: Módulo resistente de la sección, respecto al eje Y
	S_x = Momento estático de media sección, respecto al eje X	$i_y = \sqrt{I_y : A}$: Radio de giro de la sección, respecto al eje Y
	I_x = Momento de inercia de la sección, respecto al eje X	I_t = Módulo de torsión de la sección
	$W_y = 2I_x : a$: Módulo resistente de la sección, respecto al eje Y	

Perfil	Dimensiones					Términos de sección										Peso	
	a mm	b mm	e mm	r mm	u mm	A cm ²	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	S _y cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	p kg/m	
⌘ 60. 40.2	60	40	2	5	191	3,70	3,70	18,1	6,03	2,21	2,80	9,69	4,85	1,62	20,7	2,91	P
⌘ 60. 40.3	60	40	3	8	187	5,33	5,18	24,7	8,23	2,15	3,91	13,10	6,56	1,57	29,2	4,18	P
⌘ 60. 40.4	60	40	4	10	183	6,81	6,42	29,7	9,91	2,09	4,84	15,70	7,86	1,52	36,1	5,35	P
⌘ 70. 40.2	70	40	2	5	211	4,10	4,67	26,4	7,55	2,54	3,18	11,10	5,57	1,65	25,8	3,22	C
⌘ 70. 40.3	70	40	3	8	207	5,93	6,59	36,4	10,40	2,48	4,47	15,20	7,59	1,60	36,4	4,66	C
⌘ 70. 40.4	70	40	4	10	203	7,61	8,23	44,3	12,60	2,41	5,56	18,30	9,16	1,55	45,3	5,97	C
⌘ 70. 50.2	70	50	2	5	231	4,50	5,35	31,1	8,87	2,63	4,26	18,50	7,42	2,03	37,5	3,53	C
⌘ 70. 50.3	70	50	3	8	227	6,53	7,59	43,1	12,30	2,57	6,03	25,60	10,30	1,98	53,6	5,13	C
⌘ 70. 50.4	70	50	4	10	223	8,41	9,55	53,0	15,10	2,51	7,57	31,40	12,50	1,93	67,6	6,60	C
⌘ 80. 40.3	80	40	3	8	227	6,53	8,15	51,0	12,80	2,79	5,02	17,20	8,62	1,62	43,8	5,13	P
⌘ 80. 40.4	80	40	4	10	223	8,41	10,20	62,6	15,60	2,73	6,28	20,90	10,50	1,58	54,7	6,60	P
⌘ 80. 40.5	80	40	5	13	219	10,14	12,00	71,6	17,90	2,66	7,33	23,70	11,90	1,53	63,6	7,96	C
⌘ 80. 60.3	80	60	3	8	267	7,73	10,50	68,8	17,20	2,98	8,60	44,20	14,70	2,39	88,5	6,07	P
⌘ 80. 60.4	80	60	4	10	263	10,00	13,30	85,7	21,40	2,93	10,90	54,90	18,30	2,34	113,0	7,86	P
⌘ 80. 60.5	80	60	5	13	259	12,10	15,80	99,8	25,00	2,87	12,90	63,70	21,20	2,29	134,0	9,53	P
⌘100. 50.3	100	50	3	8	287	8,33	13,10	105,0	20,90	3,54	8,13	35,60	14,20	2,07	88,6	6,54	P
⌘100. 50.4	100	50	4	10	283	10,80	16,80	131,0	26,10	3,48	10,30	44,10	17,60	2,02	113,0	8,49	P
⌘100. 50.5	100	50	5	13	279	13,10	20,00	153,0	30,60	3,41	12,20	51,10	20,40	1,97	134,0	10,31	P
⌘100. 50.6	100	50	6	15	274	15,30	22,90	171,0	34,20	3,34	13,90	56,70	22,70	1,92	151,0	12,03	C
⌘100. 60.4	100	60	4	10	303	11,60	18,70	149,0	29,80	3,58	13,10	67,40	22,50	2,41	156,0	9,11	P
⌘100. 60.5	100	60	5	13	299	14,10	22,40	175,0	35,10	3,52	15,70	78,90	26,30	2,36	187,0	11,10	C
⌘100. 60.6	100	60	6	15	294	16,50	25,70	197,0	39,50	3,46	17,90	88,40	29,50	2,31	214,0	12,97	C
⌘100. 80.4	100	80	4	10	343	13,20	22,60	186,0	37,20	3,75	19,40	132,00	33,00	3,16	254,0	10,37	P
⌘100. 80.5	100	80	5	13	339	16,10	27,10	221,0	44,10	3,70	23,30	156,00	39,00	3,11	307,0	12,67	P
⌘100. 80.6	100	80	6	15	334	18,90	31,30	251,0	50,10	3,64	26,90	177,00	44,30	3,06	355,0	14,85	P
⌘120. 60.4	120	60	4	10	343	13,20	24,90	236,0	39,30	4,22	15,40	80,00	26,70	2,46	201,0	10,37	P
⌘120. 60.5	120	60	5	13	339	16,10	30,00	279,0	46,50	4,16	18,40	94,00	31,40	2,41	241,0	12,67	P
⌘120. 60.6	120	60	6	15	334	18,90	34,60	317,0	52,80	4,09	21,20	106,00	35,30	2,37	277,0	14,85	P
⌘120. 80.4	120	80	4	10	383	14,80	29,60	290,0	48,30	4,42	22,40	155,00	38,80	3,24	332,0	11,63	C
⌘120. 80.5	120	80	5	13	379	18,10	35,70	345,0	57,60	4,36	27,00	184,00	46,10	3,19	402,0	14,24	P
⌘120. 80.6	120	80	6	15	374	21,30	41,40	395,0	65,80	4,30	31,30	210,00	52,50	3,14	467,0	16,74	P
⌘120. 100.4	120	100	4	10	423	16,40	34,20	343,0	57,20	4,57	30,20	260,00	57,00	3,98	479,0	12,88	P
⌘120. 100.5	120	100	5	13	419	20,10	41,50	412,0	68,60	4,52	36,60	311,00	62,20	3,93	583,0	15,81	C
⌘120. 100.6	120	100	6	15	414	23,70	48,30	473,0	78,80	4,46	42,60	357,00	71,40	3,88	681,0	18,62	C
⌘140. 60.4	140	60	4	10	383	14,80	32,00	349,0	49,80	4,85	17,60	92,60	30,90	2,50	247,0	11,63	C
⌘140. 60.5	140	60	5	13	379	18,10	38,60	415,0	59,30	4,78	21,20	109,00	36,40	2,45	297,0	14,24	C
⌘140. 60.6	140	60	6	15	374	21,30	44,70	474,0	67,70	4,71	24,40	124,00	41,20	2,41	342,0	16,74	C
⌘140. 80.4	140	80	4	10	423	16,40	37,40	423,0	60,40	5,08	25,40	178,00	44,60	3,30	412,0	12,88	P
⌘140. 80.5	140	80	5	13	419	20,10	45,30	506,0	72,40	5,01	30,80	212,00	53,10	3,25	500,0	15,81	P
⌘140. 80.6	140	80	6	15	414	23,70	52,70	582,0	83,10	4,95	35,70	243,00	60,70	3,20	582,0	18,62	P
⌘140. 100.4	140	100	4	10	463	18,00	42,80	497,0	71,00	5,25	34,10	297,00	59,30	4,06	601,0	14,14	P
⌘140. 100.5	140	100	5	13	459	22,10	52,10	598,0	85,40	5,20	41,40	356,00	71,20	4,01	733,0	17,38	P

Anexo E. Tabla de perfiles redondos, especificaciones.

Tabla 2.A1.8. Redondos

	<p> A = Área de la sección I_x = Momento de inercia de la sección $W_x = 2I_x : d$: Módulo resistente de la sección $i_x = \sqrt{I_x / A}$: Radio de giro de la sección u = Perímetro de la sección p = Peso por m </p>
---	--

Producto	Dimensiones		Términos de sección				Peso	
	d mm	u mm	A cm ²	I_x cm ⁴	W_x cm ³	i_x cm	p kp/m	
Ø 6	6	18,8	0,283	0,006	0,021	0,150	0,222	P
Ø 7	7	22,0	0,385	0,012	0,034	0,175	0,302	C
Ø 8	8	25,1	0,503	0,020	0,050	0,200	0,395	P
Ø 10	10	31,4	0,785	0,049	0,098	0,250	0,617	P
Ø 12	12	37,7	1,130	0,102	0,170	0,300	0,888	P
Ø 14	14	44,0	1,540	0,189	0,269	0,350	1,210	P
Ø 16	16	50,3	2,010	0,322	0,402	0,400	1,580	P
Ø 18	18	56,5	2,550	0,515	0,573	0,450	2,000	C
Ø 20	20	62,8	3,140	0,785	0,785	0,500	2,470	P
Ø 22	22	69,1	3,80	1,15	1,05	0,550	2,98	C
Ø 25	25	78,5	4,91	1,92	1,53	0,625	3,85	P
Ø 28	28	88,0	6,16	3,02	2,16	0,700	4,83	C
Ø 30	30	94,2	7,07	3,98	2,65	0,750	5,55	C
Ø 32	32	101,0	8,04	5,15	3,22	0,800	6,31	P

WIZ 18 S



ELECTRODOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO

IDENTIFICACIÓN : WESTARCO E7018 S
CLASIFICACIÓN : AWS E7018
ESPECIFICACIÓN : AWS A5.1, NTC 2191, ASME SFA 5.1
APROBADO : ABS (Grado 3H10, 3Y) Lloyd's (3Ym)

CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES

El WIZ 18 S es un electrodo cuyo revestimiento es de tipo básico, bajo hidrógeno, para ser utilizado con corriente directa, polaridad positiva (+) o con corriente alterna (78 OCV mínimo). Debido al polvo de hierro, tiene una alta tasa de deposición y bajas pérdidas por salpicaduras. Su extremo de arco grafitizado le da un excelente encendido. El depósito de soldadura da una excelente calidad radiográfica.

APLICACIONES TÍPICAS

Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lbs/pulg² de resistencia a la tensión, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión, calderas, vagones de ferrocarril, etc.

RECOMENDACIONES PARA SU APLICACIÓN

Al soldar con WIZ 18 S se debe mantener un arco corto, evitando movimientos bruscos del electrodo. Al usar corriente alterna, el transformador debe tener por lo menos 78V en vacío. En posiciones diferentes a la plana deben utilizarse electrodos de 5/32" (4mm) ó de menor diámetro.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción:	51 - 59 Kg/mm ² (72 - 84 Ksi)
Límite de fluencia:	43 - 51 Kg/mm ² (62 - 72 Ksi)
Elongación:	24 - 36 %
Resistencia al impacto Charpy en V a -29 °C:	70 joules.

NOTA: Ensayos realizados según AWS A5.1

COMPOSICIÓN QUÍMICA TÍPICA DEL METAL DEPOSITADO

Carbono	0.05 - 0.10%	Manganeso	1.00 - 1.40%
Silicio	0.40 - 0.65%	Fósforo	0.035% máx.
Azufre	0.035% máx.		

DIMENSIÓN AMPERAJES RECOMENDADOS

2.4 X 300 mm (3/32")	70 - 100 A
2.4 X 350 mm (3/32")	70 - 100 A
3.2 X 350 mm (1/8")	100 - 145 A
3.2 X 450 mm (1/8")	100 - 145 A
4.0 X 350 mm (5/32")	135 - 200 A
4.0 X 450 mm (5/32")	135 - 200 A
4.8 X 350 mm (3/16")	170 - 270 A
4.8 X 450 mm (3/16")	170 - 270 A
6.4 X 450 mm (1/4")	240 - 400 A